

بررسی تأثیر اسید هیومیک بر تغییرات غلظت عناصر غذایی برگ، ریشه و ساقه مرزه خوزستانی در شرایط تنش شوری

حدیث زارع منش^۱، حمیدرضا عیسوند^{۱*}، ناصر اکبری^۱، احمد اسماعیلی^۱ و محمد فیضیان^۲

^۱ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

^۲ گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۱۵)

چکیده

به منظور بررسی اثر اسید هیومیک بر میزان جذب و تخصیص عناصر به بخش‌های مختلف گیاه مرزه خوزستانی در شرایط تنش شوری، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل پنج سطح خاک کاربرد اسید هیومیک (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و پنج سطح تنش شوری (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. با افزایش شدت تنش شوری از میزان وزن خشک اندام هوایی کاسته شد به گونه‌ای که سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، میانگین وزنی این صفت را به میزان ۱۶ درصد کاهش داد. در مقابل کاربرد اسید هیومیک به ویژه سطح ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میانگین وزنی اندام هوایی را نسبت به شاهد ۲۵ درصد افزایش داد. اثرات اصلی شوری و هیومیک اسید و همچنین اثر متقابل آنها بر غلظت عناصر اندازه‌گیری شده بجز نیتروژن ساقه و برگ، در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که در بین اندام‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه و برگ) بیشترین میزان سدیم، پتاسیم، فسفر، روی و نیتروژن در برگ و به ترتیب در سطوح تیماری S_1H_5 ، S_1H_4 ، S_2H_2 و S_1H_5 و با مقادیر ۵۰۶۴، ۹۰۰۰، ۱۳، ۱۹/۹ و ۳/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک مشاهده شد. بیشترین غلظت آهن در بین اندام‌های مختلف متعلق به ریشه و در تیمار S_2H_1 با مقدار ۷۵۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود. به طور کلی با افزایش میزان شوری و کاهش میزان هیومیک اسید غلظت املاح نظیر سدیم افزایش و از غلظت عناصر مفید و ضروری برای گیاه کاسته شد. با توجه به نتایج می‌توان بیان داشت که احتمالاً استفاده خاک کاربرد اسید هیومیک در مقادیر بالا (۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بتواند به واسطه تأثیر بر تغییرات عناصر غذایی اندام‌های گیاهی باعث تعدیل اثرات تنش شوری شود.

کلمات کلیدی: تنش‌های غیرزیستی، عناصر ریزمغذی، کود زیستی، مرزه

مقدمه

دشت خوزستان به سطوح مختلف شوری مبتلا هستند و این امر تولید کشاورزی و در نتیجه امنیت غذایی و محیط زیست کشور را به چالش کشیده است. در مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی که در ایران انجام شده است، ۶/۸ میلیون

شوری خاک از عوامل محدودکننده پایداری تولید کشاورزی در کشور است به طوری که بخش‌های زیادی از مناطق خشک و نیمه‌خشک، به ویژه دشت‌های ساحلی جنوب، فلات مرکزی و

* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: eisvand.hr@lu.ac.ir

هکتار از زمین‌های کشاورزی کشور دارای خاک‌های مبتلا به درجات مختلف شوری تشخیص داده شده‌اند (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به تغییرات جهانی آب‌وهوا، یکی از خطرات مورد انتظار، افزایش شوری در مناطق زیر کشت جهان است. بیش از ۲۰ درصد از مناطق زیر کشت دنیا تحت تأثیر شوری قرار دارند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۵۰ درصد از اراضی دنیا تحت تأثیر تنش شوری قرار گیرند (Nimir Eltyp *et al.*, 2015). لذا نیاز به توسعه محصولات زراعی سازگار با شوری و همچنین استفاده از روش‌های مختلف مدیریت زراعی در جهت کاهش اثرات شوری امری ضروری است.

اثرات مخرب شوری بر رشد گیاه شامل عدم تعادل تغذیه‌ای و اثر یون خاص (تنش شوری)، پتانسیل اسمزی پایین در محلول خاک یا ترکیبی از این عوامل است. نمک‌های محلول در غلظت‌های بالا به علت عدم تعادل تغذیه‌ای تأثیر نامطلوبی بر رشد گیاه دارند. تحت شرایط تنش شوری، تجمع بالای یون‌های سمی از قبیل کلر و سدیم در کلروپلاست رخ می‌دهد (Heidari *et al.*, 2011). پیچیدگی پاسخ گیاهان به تنش شوری می‌تواند مربوط به تأثیر شوری از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند ایجاد تنش اسمزی، سمیت یونی، عدم تعادل عناصر غذایی، کاهش غلظت دی‌اکسید کربن (با بسته‌شدن روزنه‌ها)، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد (Chawla *et al.*, 2013). به‌طور کلی تحقیقات نشان داده است که شوری خاک از طریق اثرات اولیه و ثانویه منجر به کاهش رشد و به تبع آن کاهش بیوماس گیاهی می‌شود که از این نظر اندام‌های گیاه، ریشه، ساقه و سرشاخه به دلیل حساسیت متفاوت نسبت به شوری، واکنش متفاوتی نشان می‌دهند (Setia *et al.*, 2013). در این شرایط کاربرد ترکیباتی نظیر اسید هیومیک رشد گیاهان را از طریق تغییر فیزیولوژی گیاه و با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تغییر می‌دهد. همچنین اسید هیومیک می‌تواند به‌طور مستقیم اثرهای مثبتی بر رشد گیاه بگذارد به‌طوری‌که رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط آن تحریک می‌شود اثر

اسید هیومیک بر روی ریشه برجسته‌تر است، حجم ریشه را افزایش داده و منجر به اثربخشی بهتر سیستم ریشه می‌گردد. همچنین جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را توسط گیاه افزایش می‌دهد (Balakumbahan and Rajamani, 2010). هیومیک اسید تجاری، حاوی ۵۱ درصد کربن، ۱/۲ درصد نیتروژن، ۲/۶ درصد هیدروژن و ۴۵/۲ درصد اکسیژن است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه اثر دارد. این ماده آلی به‌طور مستقیم بر تعدادی از مسیرهای رشدی در گیاهان اثر مثبت دارد و جوانه‌زنی بذر، رشد نشاء، تشکیل و رشد ریشه، توسعه شاخه و جذب عناصر پرمصرف (پتاسیم، کلسیم و فسفر) و عناصر کم مصرف (آهن، روی و منگنز) را در تعدادی از محصولات افزایش داده و منجر به افزایش عملکرد می‌شود و به‌طور غیرمستقیم بر خصوصیات خاک از جمله تراکم، تهویه، نفوذپذیری، قابلیت نگهداری آب و انتقال و دسترسی به عناصر کم مصرف را افزایش می‌دهد (Mora *et al.*, 2012). همچنین، مواد معدنی می‌توانند به سطح نقاط تبدیلی ترکیبات هیومیکی بچسبند و قابل استفاده گیاهان شوند (Mikkelsen, 2005). افزایش جذب پتاسیم و فسفر تحت تأثیر اسید هیومیک تحت تنش شوری در فلفل (Cimrin *et al.*, 2010) گزارش شده است. Aghaei fard و همکاران (۲۰۱۶) در توت‌فرنگی نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش غلظت عناصر پتاسیم، کلسیم، فسفر و منیزیم در برگ شد (Aghaei fard *et al.*, 2016). در طالبی رقم گالیا (*Cucumis melo Galia*) در شرایط تنش شوری، کاربرد خاکی اسید هیومیک (صفر، ۷، ۱۴ و ۲۱ لیتر در هکتار)، میزان جذب عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ را افزایش و میزان جذب سدیم را کاهش داد (Shalaby and EL-Messairy, 2018). در بررسی اثرات شوری آب آبیاری بر کاهوی بومی اهواز و استفاده از هیومیک اسید با هدف کاهش اثرات شوری، نتایج حاکی از آن بود که در وضعیت عدم مصرف هیومیک اسید، با افزایش شدت شوری جذب عناصر فسفر و آهن و کلروفیل برگ کاهش یافت ولی میزان سدیم در برگ افزایش یافت. اما با افزایش غلظت هیومیک اسید به مقدار ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۶ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل اسید هیومیک (شرکت سروستان پاک ایرانیان، Spi) در پنج سطح (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) قبل از کاشت، و تنش شوری در پنج سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، بود (جدول ۱)، که بعد از سبز شدن و استقرار در مرحله ۴-۶ برگی رشد گیاه اعمال شدند (۹۶/۶/۱۸). به‌طور متوسط هر گلدان، دو بار در هفته با محلول‌های شوری مد نظر آبیاری می‌شد. خاک مورد استفاده در این آزمایش از نسبت‌های خاک (۲)، ماسه (۱) و کود گوسفندی (۰/۵) تشکیل شده بود که بعد از مخلوط کردن کامل آن‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). گلدان‌های استفاده‌شده، گلدان‌های پلاستیکی چهار کیلوگرمی (گلدان‌ها از جنس پلی‌اتیلن، وزن خالی هر گلدان حدود ۲۸۰ گرم با قطر ۲۱ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر)، بود. جهت سبز شدن یکنواخت، بذور بلافاصله بعد از کاشت، گلدان‌ها آبیاری شده و توسط پلاستیک پوشش داده شد. قبل از اعمال تیمارها نمونه خاک تهیه و بعد از انجام مراحل مقدماتی از قبیل خشک کردن، کوبیدن و الک کردن خاک به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انتقال داده شد و مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اندازه‌گیری شد. پس از پرکردن گلدان‌ها و آماده‌سازی آن‌ها، ابتدا بذور مرزه با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت سه دقیقه ضدعفونی و سپس تعداد ۲۰ عدد بذر مرزه در هر گلدان کاشته شد (۹۶/۵/۷). کاشت سطحی در عمق حدود ۱-۲ سانتی‌متر بود و پس از سبز شدن در مرحله چهار برگی تنک صورت گرفت (۹۶/۵/۲۷)، به طوری که در هر گلدان ۱۰ بوته باقی ماند. برداشت نهایی نیز در تاریخ‌های ۷، ۸ و ۹ آبان ۹۶ صورت گرفت.

نیترژن گیاه از روش احتراق با دستگاه آنالیز و عنصری CHNS-O Elemental Analyzer مدل ECS4010 (ایتالیا)،

خاک، جذب عناصر فسفر و آهن برگ و میزان کلروفیل افزایش یافت و حداقل جذب عنصر سدیم را به دنبال داشت. براساس نتایج این بررسی، هیومیک اسید را می‌توان به‌عنوان یک راهکار در جهت کاهش تنش شوری در محصولات کشاورزی به‌کار برد که بیشترین تأثیر این تیمارها در سطوح تنش بالا آشکار گردید (سیلاوی و افتخاری، ۱۳۹۵).

مرزه خوزستانی (*Satureja khuzestanica*) گیاه دارویی از تیره نعناعیان و بومی مناطق گرم و خشک جنوب غرب زاگرس است که به‌علت غنی‌بودن از ترکیبات فنولی به‌ویژه کارواکرول و رزمارینیک اسید دارای اثرات دارویی متعدد می‌باشد که این اثرات دارویی با بررسی‌های علمی اخیر بخوبی به اثبات رسیده است (Gunes et al., 2007). یاری و همکاران در سال ۱۳۹۳ گزارش دادند که مرزه خوزستانی، گیاهی حساس نسبت به شرایط شوری است (یاری و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین در تحقیق وجودی مهربانی و همکاران (۱۳۹۶) بر روی گیاه مرزه با افزایش غلظت نمک بر مقدار یون سدیم برگ‌ها افزوده شد. بالاترین تجمع یون سدیم، در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به سطوح شاهد و سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین مقدار مربوط به غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار بود که نشان از تأثیر شوری در کاهش مقدار پتاسیم برگ‌ها داشت. یکی از مهم‌ترین نیازها جهت حصول عملکرد بالا و با کیفیت بخصوص در مورد گیاهان دارویی، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است، لذا با تغذیه صحیح گیاه و حاصلخیزی خاک می‌توان ضمن حفظ محیط زیست، در جهت افزایش محصول با کیفیت حرکت کرد. با توجه به پتانسیل اقتصادی در گیاهان دارویی در صورتی که بتوان این گیاهان را با استفاده از کودهای آلی در زمین‌های حاشیه‌ای و یا دچار تنش محیطی کشت کرد قطعاً حرکت بسیار خوبی در جهت ایجاد اشتغال و تولید ماده مؤثره ارگانیک خواهد بود. لذا پژوهش حاضر با هدف مطالعه تأثیر سطوح مختلف شوری و هیومیک اسید به‌صورت کاربرد خاکی بر الگوی جذب عناصر مهم تغذیه‌ای و همچنین عناصر مضر موجود در محیط شور در مرزه خوزستانی انجام شد.

جدول ۱- سطوح مختلف تنش شوری و هیومیک اسید بکار رفته در گلخانه

سطوح شوری (میلی مولار کلرید سدیم)		سطوح اسید هیومیک (میلی گرم اسید هیومیک در کیلوگرم خاک)	
علامت اختصار	سطح تیمار	علامت اختصار	سطح تیمار
S1	۰	H1	۰
S2	۲۵	H2	۱۰
S3	۵۰	H3	۲۰
S4	۷۵	H4	۳۰
S5	۱۰۰	H5	۴۰

جدول ۲- ویژگی‌های خاک گلدان‌های آزمایش (قبل از اعمال تیمارها)

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی ds/m	درصد کربن	درصد ماده آلی	وزن مخصوص ظاهری	ظرفیت تبادل کاتیونی	درصد نیتروژن
شنی رسی لومی	۷/۰۲	۰/۳۸	۱/۱۸	۱/۷۸	۱/۲۸	۱۱/۳۰	۰/۱۱
مس	مولبدن	فسفر	سدیم	پتاسیم	آهن	روی	منگنز
(mg/kg soil)	(mg/kg soil)	(mg/kg soil)	(mg/kg soil)	(mg/kg soil)	(mg/kg soil)	(mg/kg soil)	(mg/kg soil)
۲/۹۵	۰/۷۵	۴۴	۴۶۶/۷۶	۲۸۰/۲۱	۹/۰۸	۰/۹۱۲	۳/۰۱۱

اندازه‌گیری شد (Carl et al., 1997). در این روش ۲۰ میلی‌گرم از اندام‌های ریشه و ساقه و برگ مرزه خوزستانی استفاده شد. برای اندازه‌گیری فسفر از روش اسپکتروفتومتر استفاده شد (Rayan et al., 2001). بدین منظور یک گرم از ماده خشک هر یک از بخش‌های گیاه، به مدت چهار ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و بعد به مدت دو ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی قرار گرفت. سپس به نمونه ۱۰ سی‌سی اسید کلریدریک دو مولار اضافه و با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ سی‌سی در بالن ژوژه رسانده شد و بعد از کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر، نمونه در دستگاه قرار گرفت تا مقدار فسفر مربوط را در طول موج ۴۲۰ نانومتر خوانده شود. جهت سنجش آهن، روی، سدیم و پتاسیم گیاه از روش جذب اتمی استفاده شد. بدین جهت ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی خشک در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ حل نموده و سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار

گرفته تا نمونه به خوبی در اسید حل شود. در پایان، محلول‌ها با آب دیونیزه به حجم رسیده و مقدار جذب آن‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل FS AA ۲۴۰ ساخت کشور آمریکا خوانده شده و مقدار عناصر تعیین شد (White, 1976). به منظور استخراج پروتئین‌های محلول گیاه، ۰/۱ گرم از بافت تر برگ با ۱ میلی‌لیتر از بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار، pH= ۷/۸، حاوی EDTA (1mM)، DTT (4mM) و گلیسرول ۱۰ درصد، درون یک هاون و روی یخ همگن شد. مخلوط به دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دور ۲۱۰۰۰ سانتریفیوژ شد. از محلول رویی به منظور اندازه‌گیری پروتئین محلول کل استفاده شد. اندازه‌گیری پروتئین کل براساس روش روش برادفورد (Bradford, 1976)، انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر از معرف برادفورد را در لوله آزمایش ریخته، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره نمونه مورد نظر را به آن افزوده و مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت

وزن تر ساقه در تیمار شاهد و کمترین آن در تیمارهای ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار شوری به دست آمد که البته از این نظر بین تیمارهای ۳۰ و ۶۰ میلی مولار و تیمارهای ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار شوری از لحاظ وزن تر ساقه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. این محققان بیان داشتند که سمیت یونی حاصل از افزایش عناصر مضر در تنش شوری در کلیه فعالیت های زیستی و متابولیسمی گیاه اختلال ایجاد می نماید و اندام هوایی به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش می یابد. علت افزایش وزن خشک اندام هوایی در شرایط کاربرد هیومیک به این دلیل دانست که اسید هیومیک با اثرات شبه هورمونی که دارد موجب افزایش رشد گیاه و به تبع آن، افزایش وزن خشک گیاه شود (Hafez et al., 2015).

غلظت پتاسیم ریشه، ساقه و برگ: غلظت پتاسیم

اندام های مختلف مرزه خوزستانی تحت تأثیر معنی دار برهمکنش تنش شوری و اسید هیومیک در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین پتاسیم ریشه، ساقه و برگ در تیمار S_1H_5 به ترتیب با میانگین ۴۷۵، ۴۴۱۴ و ۹۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک و کمترین میزان این صفت در ریشه، ساقه و برگ در تیمار S_5H_1 به ترتیب با ۷۸، ۷۹ و ۸۲ درصد کاهش به مقادیر ۱۰۵، ۹۱۹ و ۱۵۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک رسید (جدول ۴). جذب پتاس در تنش شوری به شدت تحت تأثیر قرار می گیرد که این امر عمدتاً به دلیل رقابت سدیم و پتاسیم برای جذب در گیاه می باشد. نتایج مطالعات نشان داده که غلظت پتاسیم در برنج (Ahmad et al., 2009) و گندم (آقایی کامرانی و همکاران، ۱۳۹۴) تحت شرایط شوری کاهش یافته است. کاهش جذب پتاسیم در محیط شور می تواند ناشی از به هم خوردن تعادل هورمونی گیاه به ویژه سیتوکینین در ریشه باشد. همچنین گزارش شده است که اسید هیومیک می تواند محتوای فسفر، پتاسیم، منیزیم و آهن در برگ ها را نیز افزایش دهد (Nikbakht et al., 2008). اثرات مستقیم ترکیبات هیومیکی بر سیستم گیاه از طریق افزایش جوانه زنی، به دلیل ویژگی جذب آب و تأمین رطوبت مناسب برای بذر، رشد گیاه، افزایش نفوذپذیری غشای سلولی و جذب عناصر غذایی،

۵ دقیقه در دمای اتاق انکوبه، سپس جذب نمونه ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. محاسبات با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با پروتئین آلبومین سرم گاو انجام و میزان پروتئین محلول کل، برحسب میلی گرم بر گرم ماده تر گزارش شد.

$$(R^2 = 0.9972, Y = 0.0159x + 0.0291)$$

در نهایت جهت تجزیه داده های آزمایشی، ابتدا نرمال بودن داده ها به وسیله نرم افزار ۱۶ Minitab بررسی و سپس تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS9.4، مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی (ساقه + سرشاخه گلدار): نتایج

تجزیه واریانس صفت وزن خشک اندام هوایی در جدول ۳ نشان داده شده است. اثرات اصلی شوری و هیومیک اسید تأثیر معنی داری در سطح یک درصد بر این صفت داشتند؛ در مقابل برهمکنش معنی داری بین فاکتورهای آزمایشی مشاهده نشد (جدول ۳). در بررسی اثر اصلی تنش شوری مشخص شد با افزایش شدت تنش شوری از میزان وزن خشک اندام هوایی کاسته شد؛ به گونه ای که در سطوح صفر و ۲۵ میلی مولار کلرید سدیم، میزان وزن خشک برابر با ۲/۸۹ گرم بر بوته بود که این میزان در سطح ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم با ۱۶ درصد کاهش نسبت به شاهد به ۲/۴۳ گرم بر بوته رسید (شکل ۱a). در مقابل کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی مرزه شد و از این نظر بین سطوح اسید هیومیک اختلاف آماری معنی داری وجود داشت (جدول ۳). میانگین وزنی اندام هوایی در شرایط شاهد برابر با ۲/۴۴ گرم بر بوته بود که این میزان با ۲۵ درصد افزایش به ۳/۰۴ گرم بر بوته رسید (شکل ۱b). محمدیه و همکاران (۱۳۹۴)، در بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک بر گیاه نعنای سبز تحت سطوح متفاوت شوری شامل صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار کلرید سدیم گزارش دادند که بیشترین

جدول ۳- تجزیه واریانس تغییرات عناصر اندام‌های گیاه مرزه تحت تأثیر سطوح مختلف تنش شوری و هیومیک اسید در شرایط کشت گلخانه‌ای

منابع تغییرات	df	وزن خشک اندام هوایی	پتاسیم ریشه	پتاسیم ساقه	پتاسیم برگ	فسفر ساقه	فسفر ریشه	فسفر برگ
بلوک	۳	۰/۰۵۲*	۲۰۹ ^{ns}	۱۳۰۲۴ ^{ns}	۴۸۷۴*	۰/۱۲**	۰/۰۷۰ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{ns}
شوری (S)	۴	۰/۷۱**	۱۱۵۵۵۱**	۱۰۴۵۰۹۸۲۹**	۵۱۲۴۸۰۵۲۷**	۲۶۶**	۱۰۰**	۳۱۸/۲**
اسید هیومیک (H)	۴	۱/۰۸**	۱۰۲۹۷۸**	۳۲۶۶۵۰۱**	۴۹۹۳۶۵۴۲**	۱۴/۷**	۱۶/۱**	۱۸/۶**
S×H	۱۶	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۷۱۵۷**	۳۲۸۹۹۹**	۱۴۵۲۲۳۷۲**	۳/۴۴**	۹/۰۰**	۴/۴**
خطا	۷۲	۰/۰۱۲	۹۰/۶	۶۹۷۷	۴۴۰۰۳۱۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳۴	۰/۰۴
CV%		۴/۰۲	۴/۰۵	۲/۷۷	۰/۵۵	۲/۲۵	۲/۴۵	۲/۵۹

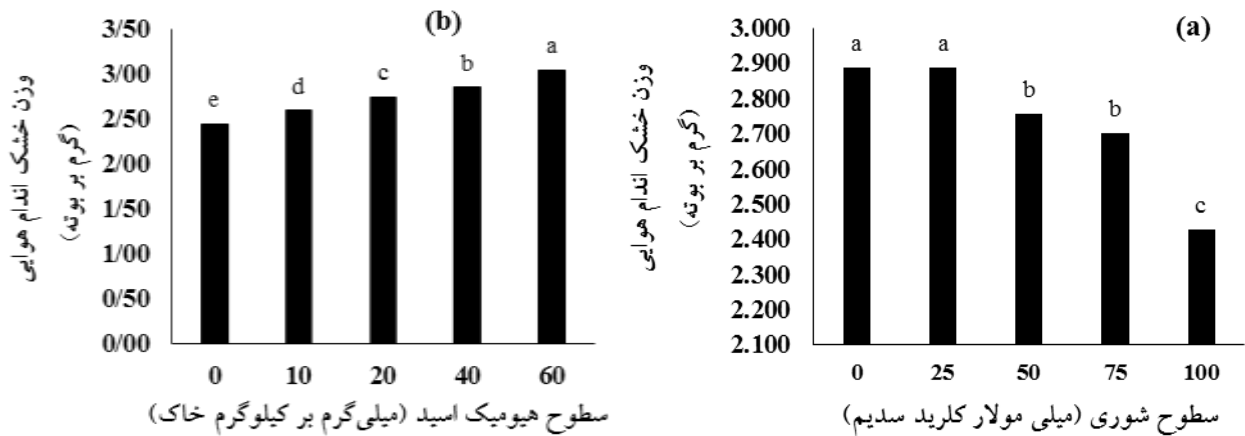
منابع تغییرات	df	وزن خشک اندام هوایی	پتاسیم ریشه	پتاسیم ساقه	پتاسیم برگ	فسفر ساقه	فسفر ریشه	فسفر برگ
بلوک	۳	۰/۰۵۲*	۲۰۹ ^{ns}	۱۳۰۲۴ ^{ns}	۴۸۷۴*	۰/۱۲**	۰/۰۷۰ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{ns}
شوری (S)	۴	۰/۷۱**	۱۱۵۵۵۱**	۱۰۴۵۰۹۸۲۹**	۵۱۲۴۸۰۵۲۷**	۲۶۶**	۱۰۰**	۳۱۸/۲**
اسید هیومیک (H)	۴	۱/۰۸**	۱۰۲۹۷۸**	۳۲۶۶۵۰۱**	۴۹۹۳۶۵۴۲**	۱۴/۷**	۱۶/۱**	۱۸/۶**
S×H	۱۶	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۷۱۵۷**	۳۲۸۹۹۹**	۱۴۵۲۲۳۷۲**	۳/۴۴**	۹/۰۰**	۴/۴**
خطا	۷۲	۰/۰۱۲	۹۰/۶	۶۹۷۷	۴۴۰۰۳۱۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳۴	۰/۰۴
CV%		۴/۰۲	۴/۰۵	۲/۷۷	۰/۵۵	۲/۲۵	۲/۴۵	۲/۵۹

منابع تغییرات	dF	پروتئین محلول کل	سدیم برگ	سدیم ساقه	سدیم ریشه	آهن ریشه	آهن ساقه	آهن برگ
بلوک	۳	۰/۰۰۰۰۹*	۳۶۴۸**	۹۷۰۹ ^{ns}	۳۹/۲ ^{ns}	۱۳/۷ ^{ns}	۲/۲۴ ^{ns}	۸/۸ ^{ns}
شوری (S)	۴	۰/۱۷**	۳۴۹۲۲۷۲۸**	۳۸۳۶۸۷۹۷**	۲۹۷۸۶۲۱**	۳۸۲۴۱۲**	۳۵۲۱۷**	۷۷۸۰۹**
اسید هیومیک (H)	۴	۱/۵۷**	۶۲۹۳۴۹**	۱۰۵۹۰۷۹**	۲۴۰۶۸۴**	۱۱۳۲۴۸**	۷۱۳/۷**	۴۳۵**
S×H	۱۶	۰/۰۰۰۰۴**	۱۷۴۷۶۸۷**	۲۶۰۹۰۲**	۱۱۳۸۶۳**	۳۲۳۸۷**	۲۹۸۹**	۱۰۰۱**
خطا	۷۲	۰/۰۰۰۰۲	۵۰۳/۵	۴۸۹۳	۱۸۲	۱۰/۶	۳/۳	۵/۶
CV%		۰/۸۱	۱/۱۳	۵/۱۷	۱/۷۶	۱/۱۹	۲/۲۹	۲/۲۷

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

بیشترین مقادیر در بین سایر تیمارهای کودی (به ترتیب ۵۵۴۲ و ۵۰۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاه) بود. تحقیقات نشان داده است که اسید هیومیک با اسیدی کردن خاک سبب تسهیل در انحلال پتاسیم شده و میزان دسترسی به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (Sanchez et al., 2002). براساس نتایج تحقیقی پتاسیم در ریشه گیاه باقلا بیشتر از سدیم در حضور اسید هیومیک افزایش یافت و نسبت پتاسیم به سدیم را

تسریع انتقال عناصر غذایی ضروری در ریشه، سنتز و فعالیت‌های آنزیمی و فعالیت‌های شبه‌هورمونی است و به این ترتیب سبب ایجاد تحمل گیاه به شوری خواهد شد (Ounia et al., 2014). در آزمایشی توسط مرادی مرجانه و همکاران (۱۳۹۶)، به منظور بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر ویژگی‌های گیاه دارویی رزماری، نتایج آزمایش نشان داد مقدار عنصر پتاسیم با کاربرد کود پتابارور و ازتو بارور دارای



شکل ۱- اثرات اصلی شوری (a) و اسید هیومیک (b) بر وزن خشک اندام هوایی (گرم بر بوته) مرزه خوزستانی. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

گیاه، اثرات سمی یونها (عمدتاً سدیم و کلر) و عدم تعادل عناصر غذایی در گیاه که به علت اختلال در جذب یا انتقال آنها می‌باشد تحت تنش قرار می‌گیرند (Yang et al., 2014). در حضور کلرید سدیم، میزان سدیم و کلر در اندام‌های گیاه افزایش و تجمع می‌یابد. این یونها جذب سایر عناصر معدنی را در برهمکنش‌های رقابتی یا به‌وسیله انتخاب‌پذیری یونی غشاء تحت تأثیر قرار دهند و سبب کمبود عناصر غذایی در گیاهان شوند (حجازی مهریزی و سعادت‌فر، ۱۳۹۸).

غلظت فسفر ریشه، ساقه و برگ: بررسی تغییرات غلظت فسفر در اندام‌های مختلف مرزه نیز حاکی از وجود برهمکنش معنی‌دار فاکتورهای شوری × هیومیک اسید از نظر این صفت در سطح یک درصد بود (جدول ۳). بیشترین میزان فسفر ریشه با میانگین ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در سطح تیماری S₁H₄، فسفر ساقه با میانگین ۱۳ (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در سطح تیماری S₁H₅ و فسفر برگ با میانگین ۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، در سطح تیماری S₁H₄ وجود داشت (جدول ۴). با توجه به اهمیت فسفر در گیاه و نقش آن در بسیاری از ترکیبات مهم سلول‌ها از جمله اسیدهای نوکلئیک و نوکلئوتیدهایی که در متابولیسم انرژی شرکت دارند، تأثیر حاصلخیزی خاک در جهت افزایش این عنصر ضروری به‌نظر می‌رسد. در واقع استفاده از کود فسفر توسط گیاه بستگی به طبیعت خاک و محصول دارد.

نیز افزایش داد که باعث افزایش قدرت تحمل گیاه به تنش شوری شد (Akinci et al., 2009).

غلظت سدیم ریشه ساقه و برگ گیاه: برهمکنش فاکتورهای شوری و اسید هیومیک بر سدیم اندام‌های ریشه، ساقه و برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان سدیم ساقه در سطح تیماری S₅H₁ (۴۳۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کمترین میزان سدیم ساقه در سطح تیماری S₁H₄ (۱۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد. در مقابل، در اندام برگ بیشترین غلظت سدیم برگ در سطح تیماری S₄H₅ با میانگین ۵۰۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و کمترین میزان این صفت در سطح تیماری S₁H₅ با میانگین ۱۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک مشاهده شد (جدول ۴). تحقیقات نشان داده است که تجمع سدیم در برگ‌ها باعث مسمومیت گیاه شده و اختلال در رشد و جذب عناصر از جمله پتاسیم را به‌همراه دارد. از تغییرات مهم در غلظت عناصر تحت شوری طی این آزمایش، افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم بود که با نتایج حجازی مهریزی و سعادت‌فر (۱۳۹۸) مطابقت داشت. در این ارتباط افزایش قندهای محلول و اسیدآمین پرولین عاملی جهت سازش گیاه به شرایط تنش بوده و اهمیت تنظیم اسمزی را نشان می‌دهد. به‌طورکلی در شرایط شور گیاه از سه طریق کاهش پتانسیل آب خاک و در نتیجه کاهش جذب آب توسط

جدول ۴- مقایسه میانگین تغییرات عناصر اندام‌های گیاه مرزه تحت تأثیر اثرات متقابل سطوح مختلف تنش شوری و هیومیک اسید در شرایط کشت گلخانه‌ای

سطح شوری (mM NaCl)			(میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)						اسید هیومیک (میلی گرم اسید هیومیک در کیلوگرم خاک)	
ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	ریشه
۰	۰	۰	۶۷۸ ⁱ	۲۷۱ ^f	۱۰۵ ^p	۱۴۸۶ ^a	۱۶۱۷ ⁿ	۵۷۸ ^k	۰	۰
۱۰	۱۰	۱۰	۷۹۱۹ ^e	۳۰۰۴ ^e	۲۳۵ ^h	۱۴۴۲ ^b	۲۶۴۱ ^g	۵۶۲ ^{kl}	۱۰	۲۵
۲۰	۲۰	۲۰	۸۲۰۶ ^d	۳۲۱۸ ^d	۲۳۳ ^h	۱۳۷۰ ^c	۱۴۶۳ ^p	۵۷۰ ^k	۲۰	۴۰
۴۰	۴۰	۴۰	۷۳۰۷ ^g	۴۱۴۴ ^b	۲۷۴ ^e	۱۱۱۹ ^e	۱۵۱۷ ^o	۵۹۸ ^{kj}	۴۰	۶۰
۶۰	۶۰	۶۰	۸۵۹۶ ^c	۴۳۹۲ ^a	۲۸۵ ^e	۹۹۲ ^g	۱۷۰۲ ^m	۹۷۴ ^{gh}	۶۰	۰
۰	۰	۰	۳۱۵۳ ^q	۱۱۷۳ ^l	۱۶۲ ^m	۱۲۲۸ ^d	۲۰۱۴ ⁱ	۱۰۵۸ ^{gf}	۰	۰
۱۰	۱۰	۱۰	۳۷۲۱ ⁿ	۱۳۱۲ ^k	۱۸۷ ^{lk}	۱۰۹۸ ^f	۱۸۸۳ ^j	۶۴۳ ^{kj}	۱۰	۵۰
۲۰	۲۰	۲۰	۵۱۰۹ ^k	۱۳۵۲ ^{jk}	۲۲۰ ⁱ	۹۸۶ ^g	۱۸۵۷ ^{jk}	۶۲۰ ^{kj}	۲۰	۴۰
۴۰	۴۰	۴۰	۷۲۱۴ ^{gh}	۱۵۲۵ ⁱ	۱۹۸ ^{jk}	۹۴۱ ^h	۲۰۲۰ ⁱ	۹۹۱ ^{gh}	۴۰	۶۰
۶۰	۶۰	۶۰	۶۴۷۵ ^{ij}	۲۴۸۳ ^g	۲۵۹ ^{fg}	۸۸۴ ⁱ	۱۴۵۶ ^p	۶۰۹ ^{kj}	۶۰	۰
۰	۰	۰	۲۵۳۵ ^t	۱۳۱۷ ^{jk}	۱۰۶ ^p	۵۹۴ ^l	۳۱۴۰ ^f	۲۱۴۳ ^e	۰	۰
۱۰	۱۰	۱۰	۲۸۵۷ ^s	۱۳۲۱ ^{jk}	۱۵۳ ^{nm}	۵۵۳ ^m	۳۵۰۵ ^d	۱۰۶۶ ^f	۱۰	۷۵
۲۰	۲۰	۲۰	۳۲۵۶ ^p	۱۳۶۶ ^{jk}	۲۱۸ ⁱ	۵۷۰ ^m	۳۲۲۸ ^e	۹۶۱ ^{gh}	۲۰	۴۰
۴۰	۴۰	۴۰	۴۴۰۷ ^m	۱۴۳۰ ^{ij}	۲۷۲ ^{fe}	۶۰۱ ^l	۴۷۳۸ ^b	۹۱۳ ^h	۴۰	۶۰
۶۰	۶۰	۶۰	۴۹۰۶ ^l	۱۷۰۴ ^h	۳۲۸ ^d	۹۸۶ ^g	۵۰۶۴ ^a	۸۱۰ ⁱ	۶۰	۰
۰	۰	۰	۱۵۰۵ ^w	۹۱۹ ^m	۱۰۵ ^p	۶۸۰ ^k	۳۶۱۳ ^c	۴۳۲۹ ^a	۰	۰
۱۰	۱۰	۱۰	۱۹۴۳ ^v	۹۸۳ ^m	۱۲۴ ^o	۱۵۱ ^r	۲۲۱۳ ^h	۳۷۱۱ ^b	۱۰	۱۰۰
۲۰	۲۰	۲۰	۲۴۵۸ ^u	۱۰۰۹ ^m	۱۴۲ ⁿ	۱۶۶ ^r	۱۷۶۵ ^l	۳۶۱۱ ^{cd}	۲۰	۴۰
۴۰	۴۰	۴۰	۲۹۵۶ ^r	۱۰۰۸ ^m	۱۸۳ ^l	۱۱۸ ^s	۱۸۳۹ ^k	۳۶۹۷ ^{cb}	۴۰	۶۰
۶۰	۶۰	۶۰	۳۴۰۷ ^{no}	۱۳۰۹ ^k	۲۵۶ ^g	۴۶۱ ^p	۱۲۴۲ ^q	۳۵۲۳ ^d	۶۰	۰

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آماری براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

درصد معنی‌دار گردید. درصد کاهش فسفر در تیمارهای با شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر در اندام هوایی به ترتیب ۱۸/۴۵ و ۰/۲۷ و در ریشه به ترتیب ۱/۴۰ و ۲۸/۰۷ درصد.

بررسی نتایج اثر تنش شوری روی اسفناج نشان داد که با افزایش غلظت نمک کلرید سدیم غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه اسفناج روندی کاهشی نشان داد و در سطح احتمال پنج

ادامه جدول ۴-۴

سطوح شوری (mM NaCl)	اسید هیومیک (میلی گرم اسید هیومیک در کیلوگرم خاک)			روی			آهن		نیتروژن ساقه	نیتروژن ریشه	نیتروژن برگ
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	روی برگ	روی ساقه	روی ریشه			
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۵	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰
۵۰	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰
۷۵	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰
۱۰۰	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	۰

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آماری براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (عالی نژادیان بید آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). براساس نتایج آزمایش احمدی و همکاران (۱۳۹۶) تجمع فسفر در ریشه و برگ، بیشتر در تیمارهایی با شوری کمتر مشاهده شد و با افزایش شوری،

درصد نسبت به تیمار شاهد بود. بیشترین غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه به ترتیب با میانگین ۰/۷۲ و ۰/۴۳ درصد در تیمار ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن در اندام هوایی و ریشه به ترتیب با مقدار ۰/۵۲ و ۰/۳۵ درصد در تیماری با

میزان جذب فسفر کاهش یافت که مطابق با نتایج پژوهش حاضر بود. این موضوع می‌تواند کاهش صفات رشدی و عملکردی گیاه را توجیه کند، زیرا فسفر به‌عنوان یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه است که با افزایش شوری در محیط ریشه، میزان جذب آن توسط ریشه و تجمع آن در برگ به‌عنوان اندام تولیدکننده گیاه (نقش فتوسنتزی برگ) کاهش می‌یابد (Chen *et al.*, 2003). Vaughan و Malcolm (1979) میزان جذب فسفر را به‌عنوان یک عنصر مؤثر در توسعه سیستم ریشه در سلول‌های ریشه گندم زمستانه در حضور اسید هیومیک بررسی کردند و دریافتند که غلظت‌های ۵ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌داری در جذب فسفر شد (Vaughan and Malcolm, 1979). نیکبخت و همکاران (2008) دریافتند که غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌داری در رشد گیاه و محتوی فسفر، منیزیم، آهن و پتاسیم در برگ‌ها شد (Nikbakht *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که هیومیک اسید از طریق ترکیب و ایجاد کمپلکس با آنزیم فسفاتاز باعث افزایش جذب فسفر در گیاه می‌شود (Vaughan and Malcolm, 1979). تأثیر اسید هیومیک بر خصوصیات ریشی و جذب عناصر غذایی کاهو مورد مطالعه قرار گرفته و تیمار هیومیک اسید بر عناصر غذایی مانند کلسیم، فسفر و منیزیم تأثیر معنی‌داری داشت (Cimrin and Yilmaz, 2005).

غلظت آهن در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ: برهمکنش معنی‌داری از نظر وضعیت عنصر آهن در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ بین فاکتورهای شوری و اسید هیومیک در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان حضور آهن درون بافتی برای ریشه در سطح تیماری S_2H_1 با میانگین ۷۵۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، برای ساقه در سطح تیماری S_2H_4 با میانگین ۱۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، و برای برگ در سطح تیماری S_2H_2 با میانگین ۱۸۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، مشاهده شد (جدول ۴). مطالعات نشان داده که وقتی آهن فقط به شکل معدنی آهن قابل دسترسی است، کمبود آهن

به‌صورت بروز کلروزیس یا زردی رخ داده، درحالی‌که حضور یا Fe-HA یا Fe-EDDHA به‌شدت سنتز کلروفیل را اصلاح کرد، FeEDDHA به‌نظر می‌رسد که مؤثر از FeHA در ترغیب تشکیل کلروفیل است. این آزمایش به وضوح نشان می‌دهد که تحت pH خنثی، HA (هیومیک اسید) رشد گیاه را تحریک می‌کند و سلامت گیاه را به‌وسیله ترغیب قابلیت دسترسی Fe و سنتز کلروفیل اصلاح می‌کند. این مطلب با سایر گزارشات یکسان است (Fang *et al.*, 2015)؛ همچنین این محققان بیان داشتند که فاکتورهای محیطی نظیر دما و شوری می‌تواند منجر به شکستن پیوند بین اسید هیومیک و ترکیبات آهن شود که از این طریق منجر به کاهش بارگیری ترکیبات نظیر آهن شده و در اختیار گیاه قرار داده شوند. Ahmad و همکاران (2009) مشاهده نمودند که در شرایط شوری غلظت آهن در برنج کاهش یافت. مقادیر زیاد کلرید سدیم در محیط می‌تواند جذب آهن را تحت تأثیر قرار داده و کمبود یا سمیت آهن را تشدید کند (Yousefi *et al.*, 2007). در مطالعه‌ای دیگر نتایج نشان داد که تیمارهای حاکی هیومیک اسید نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی تأثیر بیشتری در جذب آهن گیاه داشته است. همچنین با افزایش غلظت هیومیک اسید تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان آهن در برگ نیز افزایش یافته است (طالبی و همکاران، ۱۳۹۵). مولکول‌های هیومیک اسید می‌توانند از غشاء سلول عبور و در آپوپلاست باعث احیای آهن شوند و در دسترس بودن آهن را افزایش دهند. اثر افزایش جذب آهن توسط هیومیک اسید احتمالاً به خاصیت احیاکنندگی آن بر می‌گردد که در دسترس بودن و تجمع آهن را در بافت گیاهی افزایش می‌دهد (Nikolic *et al.*, 2003).

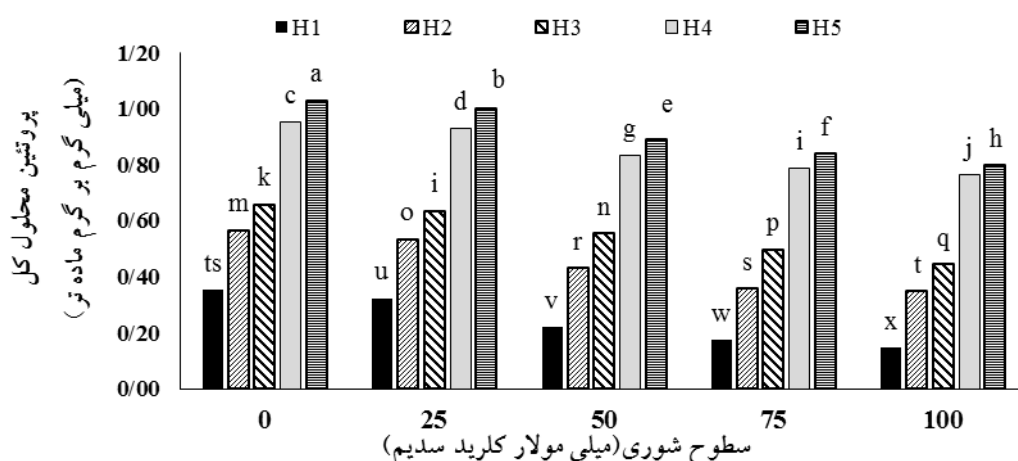
غلظت روی ریشه، ساقه و برگ: در بررسی تغییرات غلظت روی در اندام هوایی مشاهده شد که برهمکنش معنی‌داری بین فاکتورهای شوری و اسید هیومیک در سطح یک درصد وجود نداشت (جدول ۳). بیشترین میزان روی در ریشه در سطح تیماری $S1H1$ با میانگین ۱۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، در ساقه در سطح تیماری $S2H4$ با میانگین ۱۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، و در برگ با

میانگین ۱۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در سطح S2H2 مشاهده شد (جدول ۴). اثرات تحرکی مواد هیومیکی همبستگی مستقیم با افزایش جذب عناصر ماکرو نظیر ازت، فسفر و گوگرد و عناصر میکرو نظیر آهن، روی، مس و منگنز دارد. ترکیبات هیومیکی از طریق فعال‌نمودن باکتری‌ها جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند. هیومیک اسیدها از طریق بهبود دسترسی به عناصری نظیر آهن و روی در اصلاح کلروزیس گیاهی کمک می‌کنند، نفوذپذیری غشاءهای گیاهی را افزایش می‌دهند و سیستم‌های آنزیمی گیاهان را تشدید می‌کند. آنها همچنین منجر به تشدید تقسیم سلولی، نمو بیشتر ریشه و کاهش تحت تأثیر هیومیک اسیدها، گیاهان رشد بیشتر نشان می‌دهند و مقاومت بیشتری به بیماری دارند (Sabzevari and Khazaie, 2016). محققان دریافتند که با افزایش شوری قدرت یونی محلول خاک افزایش یافته، در نتیجه اکتیویته روی در محلول کاهش یافته و جذب روی در سطح تبدالی کانی‌های رسی کم شده و همین امر سبب افزایش غلظت روی دوظرفیتی در محلول خاک می‌شود که این یافته می‌تواند نتایج این پژوهش را تفسیر نماید (Casagrande et al., 2004). مکانیسم افزایش جذب روی توسط هیومیک اسید به خاصیت کلات‌کنندگی آن بر می‌گردد (Khaled and Fawy, 2011). کاربرد هیومیک اسید به‌صورت محلول در خاک‌های آهکی می‌تواند سبب افزایش وزن خشک و جذب عناصر غذایی روی، مس، آهن و سایر عناصر غذایی شود (Celik et al., 2008).

غلظت نیتروژن و پروتئین محلول کل: برهمکنش

معنی‌داری بین فاکتورهای شوری و اسید هیومیک در سطح یک درصد از نظر درصد نیتروژن ریشه و پروتئین محلول کل مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان این صفات در سطح تیماری S1H5 به‌ترتیب با میانگین ۱/۲۶۶ درصد و ۱/۰۳۱ میلی‌گرم در گرم ماده تر بود که در سطح تیماری S5H1 به کمترین مقادیر خود به‌ترتیب با میانگین ۰/۳۷۴ درصد و ۰/۱۴۶ میلی‌گرم در گرم ماده تر کاهش یافت. همچنین مقدار نیتروژن ساقه و برگ در تیمار S1H5 به‌ترتیب با میانگین ۱/۹۷ درصد و ۳/۹۱ درصد مشاهده

شد که با تیمار S2H5 اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین مقدار نیتروژن ساقه و برگ در ترکیب تیماری S5H1 به‌ترتیب با میانگین ۰/۶۰ درصد و ۱/۱۷ درصد مشاهده شد (جدول ۴ و شکل ۲). نیتروژن به‌عنوان عنصر کلیدی در ساختمان بسیاری از ترکیبات موجود در سلول‌های گیاهی مطرح است. میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه تا حدود زیادی به گونه گیاه و شرایط موجود در خاک بستگی دارد. برای تثبیت نیتروژن، عنصر آهن در ترکیب لگ هموگلوبین و واکنش‌های مربوط به تثبیت نیتروژن شرکت دارد. علاوه بر این، آهن در ترکیب با آنزیم‌ها (نیترات و نیتريت ریداکتاز)، به‌ترتیب در سیتوپلاسم و کلروپلاست نیز شرکت دارد، که در نتیجه، علاوه بر تثبیت نیتروژن، بر روی مقدار احیای نیتروژن در گیاه اثر مستقیم دارد (Hafez et al., 2015)؛ همچنین تحقیقات مختلف نشان داده است که اسید هیومیک سبب تشکیل کمپلکس‌های محلول با عناصر ریزمغذی می‌گردند و از این طریق تیمار اسید هیومیک بیشترین تأثیر را بر درصد نیتروژن دارد. از نظر درصد پروتئین نیز با توجه به اینکه درصد پروتئین به درصد نیتروژن وابسته می‌باشد، مشاهده شد که اسید هیومیک تأثیری که بر درصد نیتروژن داشت بر درصد پروتئین هم نشان داد و این نشان‌دهنده رابطه مستقیم و تأثیری است که نیتروژن بر میزان پروتئین می‌گذارد. برخی محققان نشان دادند که جذب کلی نیتروژن به‌صورت خطی در ارتباط با مقادیر کاربرد نیتروژن است ولی در شرایط شوری، این جذب کلی بدون توجه به مقدار نیتروژن، متوقف می‌شود و جذب کلی نیتروژن در سطوح پایین شوری به‌صورت معنی‌داری بیشتر از جذب آن در سطوح بالای شوری است (Khan et al., 2017). کاهش مقدار نیتروژن در اندام‌های هوایی را در محیط‌های شور را می‌توان ناشی از ممانعت یون کلر از جذب نیترات به‌دلیل رابطه آنتاگونیستی بین یون کلر با یون نیترات در محیط‌های شور دانست (حاجی آقایی و همکاران، ۱۳۹۴). بالابودن میزان نیتروژن را چنین می‌توان توجیه کرد که هیومیک اسید با تحریک جذب NO3⁻ توسط افزایش بیان پروتئین حامل نیتروژن در سطح غشای سلولی و همچنین تغییر در میزان



شکل ۲- برهمکنش شوری و هیومیک اسید بر پروتئین محلول کل. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

ماده خشک تولیدی را ۲۵ درصد افزایش داد. از دلایل واکنش ماده خشک تولیدی مرزه به فاکتورهای آزمایشی می‌توان به تغییرات غلظت عناصر غذایی اندام‌های گیاهی (ریشه، ساقه و برگ) در این شرایط اشاره نمود، به طوری که تحت تنش شوری با افزایش شدت تنش تا ۱۰۰ میلی‌مولار میزان سدیم اندام‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین تنش شوری موجب کاهش غلظت عناصر مفید به‌ویژه در شرایط عدم استفاده از هیومیک اسید شد که با کاربرد اسید هیومیک و افزایش کاربرد آن به‌خصوص در تیمار ۶۰ میلی‌گرم هیومیک اسید توانست اثرات منفی شوری را تخفیف دهد و غلظت عناصر ضروری برای رشد گیاه افزایش یابد. پروتئین محلول کل نیز با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش پیدا کرد ولی کاربرد هیومیک اسید توانست اثرات این تنش را کاهش دهد و مخصوصاً در شرایط بدون شوری و استفاده از ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از اسید هیومیک میزان پروتئین محلول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

کاتیون‌ها جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد. همچنین می‌توان اثر هورمونی شبیه جیبرلین این ماده را در جذب نیتروژن دخیل دانست (Khaled and Fawy, 2011). براساس نتایج پژوهشی بر خصوصیات گل رز، اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر میزان تجمع پروتئین کل در برگ گیاه داشته است. بیشترین میزان پروتئین کل مربوط به تیمار ۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک بود (طالبی و جبارزاده، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از تأثیرپذیری معنی‌دار ماده خشک تولیدی مرزه خوزستانی از فاکتورهای آزمایشی داشت به طوری که تنش شوری در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بیشترین کاهش ماده خشک تولیدی این گیاه را سبب شد که نسبت به شرایط شاهد (بدون شوری)، ۱۶ درصد کاهش را نشان داد. از طرفی دیگر کاربرد کود هیومیک اسید منجر به بهبود ماده خشک تولیدی شد و از این نظر کاربرد بالاترین سطح هیومیک اسید یعنی ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هیومیک اسید، عملکرد

منابع

احمدی، ع.، بیات، ح. و توکلی نکو، ح. (۱۳۹۶) پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک نونهال‌های پده (*Populus euphratica* Oliv.) به تنش شوری در شرایط گلخانه. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲۵: ۱۳۶-۱۲۷.

- جمشیدی، م.، افتخاری، ک.، نویدی، م. ن. و مؤمنی، ع. (۱۳۹۴) چهل سال مطالعات خاکشناسی در مؤسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. تهران.
- حاجی آقایی کامرانی، م.، رحیمی چگنی، ا.، حسین نیا، ه. و بابایی، ع. (۱۳۹۴) اثر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بر غلظت عناصر در برگ گندم در شرایط آب کشت. بوم‌شناسی گیاهان زراعی ۱۱: ۳۱-۴۰.
- حجازی مهریزی، م. و سعادت‌فر، ا. (۱۳۹۸) تأثیر متقابل شوری و تغذیه روی و مس بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه رزماری در یک خاک آهکی. مهندسی زراعی ۴۲: ۴۹-۶۱.
- سیلاوی، ب. و افتخاری، س. ع. (۱۳۹۵) بررسی اثرات شوری آب آبیاری بر میزان کلروفیل برگ و جذب عناصر غذایی کاهوی بومی اهواز با کاربرد مقادیر مختلف هیومیک اسید. سومین همایش ملی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار. جیرفت.
- طالبی، پ. و جبارزاده، ز. (۱۳۹۷) تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گل رز مینیاتور رقم هفت رنگ. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۷: ۲۷۳-۲۶۳.
- طالبی، پ.، جبارزاده، ز. و رسولی صدقیانی، م. ر. (۱۳۹۵) تأثیر نحوه کاربرد و غلظت‌های مختلف هیومیک اسید بر عملکرد و میزان جذب عناصر معدنی گل رز مینیاتور رقم هفت رنگ. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۸: ۷۸۹-۸۰۴.
- عالی نژادیان بید آبادی، ا.، حسنی، م. و ملکی، ع. (۱۳۹۷) تأثیر مقدار و شوری آب بر شوری خاک و رشد و غلظت عناصر غذایی اسفناج در گلدان. مجله تحقیقات خاک و آب ایران ۴۹: ۶۵۱-۶۴۱.
- محمدیه، ز.، مقدم، م.، عابدی، ب. و سمیعی، ل. (۱۳۹۴) تأثیر تنش شوری بر برخی پارامترهای عملکردی و خصوصیات مورفولوژیک گیاه نعنای سبز در شرایط هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۶: ۹۷-۱۰۶.
- مرادی مرجانه، ا.، گلوی، م.، رمودی، م. و سلوکی، م. (۱۳۹۶) بررسی برخی ویژگی‌های کمی و فیزیولوژیک گیاه دارویی رزماری تحت تأثیر کودهای بیولوژیک و شیمیایی در چین‌های مختلف. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۹: ۱۰۷۶-۱۰۶۱.
- وجودی مهربانی، ل.، حسن‌پور اقدم، م. ب. و ولی‌زاده کامران، ر. (۱۳۹۶) بررسی رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۱۱: ۹۹-۱۱۰.
- یاری، م.، کریمی، ن.، فاسمپور، ح. ر. و مرادی، ا. (۱۳۹۳) بررسی تأثیر تنش شوری بر جوانه‌زنی و شاخص‌های آن در گیاه دارویی مرزه *Satureja hortensis*. اولین همایش ملی گیاهان دارویی، طب سنتی و کشاورزی ارگانیک، همدان، دانشگاه شهید مفتح.
- Aghaei fard, F., Babalar, M., Fallahi, E. and Ahmadi, A. (2016) Influence of humic acid and salicylic acid on yield, fruit quality and leaf mineral elements of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. Camarosa. Journal of Plant Nutrition 39: 1821-1829.
- Ahmad, M. S. A., Javed, F., Javed, S. and Alvi, A. K. (2009) Relationship between callus growth and mineral nutrients uptake in salt-stressed Indica rice callus. Journal of Plant Nutrition 32: 382-394.
- Akinci, S., Buyukkeskin, T., Eroglu, A. and Erdogan, B. E. (2009) The effect of humic acid on nutrient composition in broad bean (*Vicia faba* L.) roots. Journal of Science Biology 1: 81-87.
- Balakumbahan, R. and Rajamani, K. (2010) Effect of biostimulants on growth and yield of Senna (*Cassia angustifoliavar* KKM.1). Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants, IDOSI Publication 2: 16-8.
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annals of Biochemistry 72: 248-254.
- Carl, F. and Zimmermann Carolyn, W. (1997) Keefe "Determination of Carbon and Nitrogen in Sediments and Particulates of Estuarine/Coastal Waters Using Elemental Analysis", university of Maryland System Center for Environmental Estuarine Studies, Chesapeake Biological Laboratory.
- Casagrande, J. C., Alleen, L. R. F., Camargo, O. A. and Arnone, A. D. (2004) Effects of pH and ionic strength on zinc sorption by a variable charge soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 35: 2087-2095.
- Celik, O., Atak, C. and Rzakulieva, A. (2008) Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in paulownia node

- cultures. *Journal of Central European Agriculture* 9: 297-304.
- Chawla, S., Jain, S. and Jain, V. (2013) Salinity induced oxidative stress and antioxidant system in salt tolerant and salt sensitive cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 1: 27-34.
- Chen, S., Li, J., Wang, S. H., Fritz, E., Hüttermann, A. and Altman, A. (2003) Effects of NaCl on shoot growth, transpiration, ion compartmentation, and transport in regenerated lants of *Populus euphratica* and *Populus tomentosa*. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 967-975.
- Cimrin, K. M. and Yilmaz, I. (2005) Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science* 55: 58-63.
- Cimrin, K. M., Turkmen, O., Turan, M. and Tuncer, B. (2010) Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology* 9: 5845-5851.
- Fang, K., Yuan, D., Zhang, L., Feng, L., Chen, Y. and Wang, Y. (2015) Effect of environmental factors on the complexation of iron and humic acid. *Journal of Environmental Sciences* 27: 188-196.
- Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, E. G. and Cicek, N. (2007) Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology* 164: 728-736.
- Hafez, M. M., Shafeek, M., Mahmoud, A. R. and Ali, A. H. (2015) Beneficial effects of nitrogen fertilizer and humic acid on growth, yield and nutritive values of spinach (*Spinacia olivera* L.). *Journal of Applied Sciences* 5: 597-603.
- Heidari, A., Toorchi, M., Bandehagh, A. and Shakiba, M. R. (2011) Effect of NaCl stress on growth, water relations, organic and inorganic osmolytes accumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 1: 351-362.
- Khaled, H. and Fawy, H. A. (2011) Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research* 6: 21-29.
- Khan, A., Tan, D. K. Y., Afridi, M. Z., Luo, H., Tung, S. A., Ajab, M. and Fahad, S. (2017) Nitrogen fertility and abiotic stresses management in cotton crop: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 24: 14551-14566.
- Mikkelsen, R. L. (2005) Humic materials for agriculture. *Science Research* 89: 6-7.
- Mora, V., Baigorri, R., Bacaicoa, E. and Zamarreno, A. (2012) The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. *Environmental and Experimental Botany* 76: 24-32.
- Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y. P., Luo, A. and Etemadi, N. A. (2008) Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake and post harvest life of Gerbera. *Journal of Plant Nutrition* 31: 2155-2167.
- Nikolic, M., Cesco, S., Romheld, V., Varanini, Z. and Pinton, R. (2003) Uptake of iron (Fe-59) complexed to water-extractable humic substances by sunflower leaves. *Journal of Plant Nutrition* 26: 2243-2252.
- Nimir Eltyb, A. N., Lu, Sh., Zhou, G., Guo, W., Ma, B. and Wang, Y. (2015) Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defence system of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) under salinity and temperature stresses. *Crop and Pasture Science* 66: 145-157.
- Ounia, Y., Ghnayaa, T., Montemurro, F., Abdellia, C. H. and Lakhdera, A. (2014) The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production*. 8: 353-374.
- Rayan, J. R., Estefan, G. and Rashid, A. (2001) *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual*. 2nd Ed. ICARDA, Syria.
- Sabzevari, S. and Khazaie, H. (2016) The effect of foliar application with humic acid on growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bum/shinasi-i kishavarzi* 1: 53-63.
- Sanchez, A., Sanchez-Anderu, J., Juarez, M., Jorda, J. and Bermudez, D. (2002) Humic substances and amino acid improve effectiveness of Chelate FeEDDHA in Lemons trees. *Journal of Plant Nutrition* 25: 2433-2442.
- Setia, R., Gottschalk, P., Smith, P., Marschner, P., Baldock, J., Setia, D. and Smith, J. (2013) Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks. *Science of the Total Environment* 465: 267-272.
- Shalaby, O. and EL-Messairy, M. (2018) Humic acid and boron treatment to mitigate salt stress on the melon plant. *Acta Agriculturae Slovenica* 111: 349-356.
- Vaughan, D. and Malcolm, R. E. (1979) Effect of soil organic matter on peroxidase activity of wheat roots. *Soil Biology and Biochemistry* 11: 57-63.
- White, R. E. (1976) Studies on the mineral ion absorption by plant, The interaction of aluminium phosphate and pH on the growth of *Medicago sativa*. *Journal of Plant and Soil* 46: 195-208.
- Yang, S. J., Zhang, Z. L., Xue, Y. X., Zhang, Z. F. and Shi, S. Y. (2014) Arbuscular mycorrhizal fungi increase salt tolerance of apple seedlings. *Botanical Studies* 55: 70-76.
- Yousefi, S., Wissal, M., Mahmoudi, H., Abdellia, C. and Gharsalli, M. (2007) Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 45: 309-314.

An investigation of effects of humic acid on changes in nutrients concentration of leaf, root and stem of *Satureja khuzestanica* under salinity stress

Hadis Zaremanesh¹, Hamid Reza Eisvand^{1*}, Naser Akbari¹, Ahmad Ismaili¹, Mohammad Feizian²

¹ Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University

(Received: 06/07/2020, Accepted: 06/10/2020)

Abstract

To investigate the influence of humic acid on the amount of absorption and allocation of elements on different parts of *Satureja khuzestanica* under salinity stress conditions, a greenhouse experiment was done as factorial based on a randomized complete block design in four replications. Factors included humic acid (zero, 10, 20, 30 and 40 mg kg⁻¹ soil), and salinity stress (zero, 25, 50, 75 and 100 mM NaCl). It was found that the shoot dry weight was decreased with increasing the intensity of salinity stress; at a level of 100 mM sodium chloride, the average of this trait was reduced by 16%. In contrast, the use of humic acid, particularly 60 mg/kg soil, increased the shoot dry weight by 25% compared to the control. The effect of humic acid, salinity, and their interaction were significant ($P \leq 0.01$) on measured characteristics except stem and leaf nitrogen. Results showed that among organs (root, stem and leaf), the highest amount of sodium, potassium, phosphorus, zinc and nitrogen (5064, 9000, 13, 19.92 and 3.91 mg kg⁻¹ dry weight) were observed in leaf in the S₁H₅, S₂H₂, S₁H₄, and S₁H₅ treatments, respectively. Among different organs, maximum iron content (759.9 mg kg⁻¹ of dry weight) was observed in roots under S₂H₁. In general, with increasing salinity and decreasing humic acid, the concentration of salts such as sodium increased whereas the concentration of useful and essential elements for the plant decreased. According to the results, it can be stated that probably soil application of humic acid at high amounts (40 and 60 mg/kg soil) can moderate the effects of salinity stress by affecting the nutrient changes of plant organs.

Key words: Abiotic stresses, Micronutrients, Biofertilizer, *Satureja khuzestanica*

Corresponding author, Email: eisvand.hr@lu.ac.ir