

## مقاله پژوهشی

## تأثیر محلول پاشی بر اسینواستروئید بر صفات رشدی و غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis L.*) تحت تنفس شوری

### حذیث زارع منش

گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی بر اسینواستروئید بر صفات رشدی و غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis L.*) تحت تنفس شوری، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه پیام‌نور لرستان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی، تنفس شوری در سه سطح (صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول پاشی بر اسینواستروئید در سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۲ میکرومولار) بود. بیشترین میانگین ارتفاع بوته (۳۲/۵۶ سانتی‌متر)، طول ریشه (۰/۸۷ سانتی‌متر)، وزن تر اندام هوایی (۵/۸۹ گرم در بوته)، وزن خشک هوایی (۲ گرم در بوته)، وزن خشک ریشه (۰/۲۲ سانتی‌متر)، وزن تر اندام هوایی (۱۶/۳۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در شرایط شاهد (بدون شوری) بود که تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب ۳۲، ۳۱، ۳۱، ۱۹، ۲۱، ۲۱، ۲۳ و ۷۹ درصد کاهش یافتند. در مقابل کاربرد هورمون بر اسینواستروئید به ویژه در سطح ۲ میکرومولار سبب افزایش میانگین ارتفاع بوته (۳۰/۴۶ سانتی‌متر)، طول ریشه (۲۱/۷ سانتی‌متر)، وزن تر (۵/۹۵ گرم در بوته) و خشک (۰/۰۵ گرم در بوته) اندام هوایی و محتوی پتاسیم (۱۰/۶۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) اندام هوایی شد. نتایج اثرات مقابل فاکتورهای شوری و محلول پاشی نشان داد که با افزایش شدت شوری، محتوی سدیم به طور معنی‌داری افزایش (محتوی سدیم در تیمار میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون محلول پاشی برابر با ۱۰/۹۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک بود) و به تبع آن نسبت پتاسیم به سدیم (میانگین این صفت در تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون محلول پاشی برابر با ۰/۰ بود) شدیداً کاهش یافت؛ هر چند که کاربرد محلول پاشی بر اسینواستروئید تا حدی میزان جذب سدیم را کاهش داد (محتوی سدیم در تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و سطح ۲ میکرومولار محلول پاشی برابر با ۶/۵۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک بود). به طور کلی، شوری با اختلال در میزان جذب پتاسیم و کاهش شدید نسبت پتاسیم به سدیم گیاه سبب کاهش صفات رشدی مورد مطالعه و محلول پاشی بر اسینواستروئید سبب بهبود افزایش وزن تر و خشک مرزه شد.

**کلمات کلیدی:** تنفس‌های غیرزیستی، بر اسینواستروئید، مرزه، هورمون‌های رشدی، عناصر غذایی

مرزه تابستانه با نام علمی *Satureja hortensis L.* به عنوان گیاهی علفی و یکساله، یکی از مهمترین گیاهان متعلق به

مقدمه

این نتایج، مطالعه Zarehmanesh و همکاران (۲۰۲۰) نیز حاکی از تأثیرپذیری معنی دار ماده خشک تولیدی مرزه خوزستانی از فاکتورهای آزمایشی بود؛ به طوریکه تنفس شوری در سطح ۱۰۰ میلی مولار بیشترین کاهش ماده خشک (۱۶ درصد کاهش نسبت به شرایط شاهد) تولیدی این گیاه را سبب شد. حال با توجه به این محدودیت‌ها، استفاده از تکنیک‌هایی جهت کاهش اثرات نامطلوب شوری، می‌تواند نقش به سزاگی در بهبود عملکرد کمی و کیفی این گیاه با ارزش داشته باشد. در این راستا، برای کاهش اثرات منفی تنفس شوری می‌توان از محلول‌پاشی هورمون‌های گیاهی بهره گرفت. در این میان، براسینواستروئیدها، به عنوان گروه مهمی از هورمون‌های استروئیدی، می‌توانند با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و هومئوستازی یونی به افزایش تحمل گیاهان کمک شایانی نمایند (Krishna, 2003). براسینواستروئید از مشتقان آلفا کولستتان ( $\alpha$ -cholestan) بوده و از مسیر موالانات در گیاه سترن می‌شوند (Khripach *et al.*, 1998). این ترکیبات در اکثر قسمت‌های گیاه یافت می‌شوند و بیشترین میزان آنها در اندام‌های زایشی قرار دارد. امروزه ساختمان و عملکرد ۵۹ براسینواستروئید (۵۴ عدد به صورت آزاد و ۵ همیوغ با اسیدهای چرب و قندها) از گیاهان مختلف استخراج و شناسایی شده است (Gholami, 2018). این ترکیبات با تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، پتانسیلی قوی را در تعديل بسیاری از تنفس‌ها دارند (Anwar *et al.*, 2018). در این راستا محققان از تنفس‌ها نشان دادند (Hong *et al.*, 2002). همچنین براسینواستروئیدها نشان دادند (Zhiponova *et al.*, 2013). با این وجود تحقیقات نشان داده است که استفاده از براسینواستروئیدها در غاظت‌های بسیار پایین به طور قابل توجهی رشد گیاه را افزایش می‌دهد، در حالیکه سطوح بالاتر تأثیرات نامطلوبی بر رشد و پارامترهای Choudhary *et al.*, 2020) مربوط به رشد در مراحل اولیه دارد (

خانواده نعناعیان است که از این جنس، تاکنون پانزده گونه در ایران شناسایی شده است که سه گونه آن انحصاراً بومی ایران هستند (Jamzad, 2009؛ ببالار و همکاران، ۱۳۹۵). برگ‌ها و سرشاخه گلدار مرزه تابستانه به واسطه خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و اثرات درمانی ویژه از جمله ضدنفخ، ضددل درد، ضدانگل، مقوی معده، محرک، خلط‌آور و غیره اهمیت ویژه‌ای در صنایع داروسازی و غذایی یافته است (Yazdanparast and Shahriary, 2008). این گیاه دارویی می‌تواند با توجه به کاربردهای وسیع، به صورت زراعی مورد کشت قرار گیرد. با این وجود، مرزه تابستانه نیز همانند بسیاری از گیاهان نسبت به تنفس‌های محیطی نظیر تنفس شوری واکنش نشان می‌دهد. در این راستا برخی از مطالعاتی که بر روی مرزه تابستانی انجام شده است حاکی از حساسیت این گونه دارویی با ارزش نسبت به تنفس شوری است. در این راستا، نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی نشان دادند که شوری سبب کاهش برخی صفات مورفو‌لولژیک گیاه مرزه گردید (Mehdizadeh *et al.*, 2019). محققان در بررسی خصوصیات رشدی و نسبت پتاسیم به سدیم مرزه تابستانه تحت تنفس کلرید سدیم (سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار) گزارش دادند که شوری با اختلال در میزان جذب پتاسیم و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم گیاه سبب کاهش صفات مورد مطالعه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی و به تبع آن عملکرد ماده خشک مرزه تابستانه شد. در واقع تنفس شوری ابتدا از طریق ایجاد تنفس اسمزی سبب کاهش جذب آب توسط گیاه و نهایتاً تنفس خشکی فیزیولوژیک شده و در ادامه با ورود املاح به درون سلول‌های گیاه و اختلال در سیستم‌های غشایی و آنزیمی سبب سمیت یونی می‌گردد (Munns and Tester, 2008). از پیامدهای قرارگیری گیاه در معرض اثرات اسمزی و سمیت یونی املاح، می‌توان به ایجاد تغییرات فیزیولوژیک از جمله بسته شدن روزنه‌های برگ، شوک بیش از حد اسمزی، کاهش رشد سلول، کاهش میزان فتوسنتز و همچنین بهم خوردن تعادل مواد غذایی و غاظت بالای یون‌های سمی اشاره نمود (Zarehmanesh *et al.*, 2020). هم راستا با

جدول ۱- تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه ای

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی ds/m	درصد ماده آلی	وزن مخصوص ظاهری	ظرفیت تبادل کاتیونی
شنی - رسی - لومی	۷/۱۵	۰/۴۱	۱/۸۰	۱/۲۲	۱۱/۴۰

انجام شد و آبشویی گلدانها به منظور جلوگیری از تجمع نمک هر ۱۴ روز یکبار در هر تیمار انجام شد.

**تیمار محلول پاشی:** محلول پاشی برگی هورمون براسینو استروئید مجموعاً در دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول در زمان رشد رویشی و دو هفته پس از اعمال تنفس انجام شد. مرحله دوم محلول پاشی در ابتدای ورود گیاهان به فاز زایشی و با مشاهده اولین غنچه های گل (شروع غنچه دهی) انجام شد.

گیاهان در مرحله گلدهی برداشت شدند و خصوصیات رشدی آنها بررسی شدند. در مرحله گلدهی کامل ابتدا از هر تیمار سه بوته به طور تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از جداسازی ریشه و ساقه بالافصله وزن تر آنها با کمک ترازوی حساس دیجیتال با دقت یک هزارم (AND GF600) اندازه گیری شد. سپس در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و مجدداً توسط ترازوی دقیق توزین و به عنوان شاخص وزن خشک قسمت های مختلف گیاه در نظر گرفته شدند.

**نشت الکتروولیت:** جهت تعیین نشت الکتروولیت از روش Lutts و همکاران (۱۹۹۶) استفاده شد. ابتدا میزان مساوی از برگ ها در هر تکرار پس از شستشو با آب دو بار تقطیر جهت حذف آلودگی های احتمالی، درون لوله های آزمایش حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر استریل منتقل شدند. سپس نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه روی شیکر قرار داده شدند و پس از آن هدایت الکتریکی اولیه (EC1) آنها توسط دستگاه اندازه گیری هدایت الکتریکی (EC) مدل ۸۶۵۰۳ (AZ) ارزیابی شد. سپس نمونه ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد اتوکلاو شدند و پس از خنک شدن لوله ها هدایت الکتریکی ثانویه (EC2) اندازه گیری شد. در نهایت درصد نشت یونی از رابطه زیر بدست آمد.

$$EC\% = (EC1/EC2) \times 100$$

2012). لذا بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر سطوح محلول پاشی بر اسینو استروئید بر صفات رشدی و فیزیولوژیک مرزه تابستانه تحت تأثیر سطوح شوری بود.

#### مواد و روش ها

آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول پاشی بر اسینو استروئید بر صفات رشدی و غلظت یون های سدیم پتابسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*) تحت تنفس شوری، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوك های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه پیام نور لرستان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتور های آزمایشی شامل تنفس شوری در سه سطح (صفراً، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم به ترتیب معادل صفر، ۳/۵ و ۷ دسی زیمنس بر متر) و محلول پاشی بر اسینو استروئید در سه سطح (صفراً، ۰/۵ و ۲ میکرومولار) بود. مخلوط خاک مورد استفاده در گلدان های آزمایشی شامل خاک زراعی، ماسه و کود گوسفنده به ترتیب با نسبت ۲:۱:۰/۵ بود که بعد از مخلوط کردن کامل آنها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. گلدان ها از نوع پلاستیکی چهار کیلو گرمی (از جنس پلی اتیلن، با قطر ۲۱ و ارتفاع ۲۰ سانتی متر)، بود. خصوصیات خاک گلدان مورد استفاده پیش از آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جهت اجرای این آزمایش، بذر مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*), از شرکت پاکان بذر اصفهان، نمک کلرید سدیم Merck آلمان از شرکت برنا طب و هورمون بر اسینو استروئید مربوط به شرکت سیگما تهیه گردید.

اعمال تیمارهای آزمایشی، تنفس شوری: جهت اعمال سطوح شوری مورد نظر، آبیاری با آب شور حاصل از نمک کلرید سدیم (NaCl) در مرحله ۶-۴ برگی هر سه روز یکبار

میلی مولار اختلاف آماری معنی داری نداشت. در مقابل تحت شوری ۸۰ میلی مولار، کمترین میانگین ارتفاع بوته با میانگین ۲۲/۱۷ سانتی متر به دست آمد. بر این اساس مشاهده شد که با افزایش شدت شوری، ارتفاع بوته مرزه تابستانه نیز کاهش یافت که این میزان کاهش در سطوح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار به ترتیب برابر با ۱۳ و ۳۲ درصد بود (جدول ۲). شوری به عنوان یکی از مهمترین تنفس های غیرزیستی به شمار می رود که تقریباً تمام مراحل رشد و نمو گیاه را کم و بیش تحت تأثیر قرار می دهد. تحت این شرایط، گیاهان در مقابله با شوری، تغییرات مورفولوژیک بسیاری مانند کاهش ارتفاع گیاه و وزن خشک از خود نشان می دهند (Munns and Tester, 2008). در واقع کاهش رشد یک نوع سازگاری برای بقا گیاه تحت تنفس است. همچنین کاهش ارتفاع بوته مشاهده شده در این پژوهش، احتمالاً به علت عدم تورژسانس مناسب سلول ها و اختصاص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنفس، کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه و نیز مکانیسم های فرار از تنفس است که منجر به اختلال در توسعه عادی سلول ها و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه شده است. هم راستا با نتایج حاصل از این پژوهش در بررسی تأثیر تنفس شوری بر خصوصیات رشدی پنج توده مرزه تابستانه گزارش شد که سطوح مختلف شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد این گیاه اثر معنی داری داشت و منجر به کاهش ارتفاع مرزه شد (رازنده، ۱۳۹۳).

**طول ریشه:** اثرات اصلی شوری و محلول پاشی براسینو استروئید تأثیر معنی داری به ترتیب در سطح یک و پنج درصد بر طول ریشه مرزه تابستانه داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که تحت تنفس شوری، طول ریشه کاهش یافت. بر این اساس مشاهده شد که طول ریشه در شرایط شاهد برابر با ۲۲/۰۵ سانتی متر بود که تحت سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم به ترتیب ۱۳ و ۲۱ درصد کاهش یافت (جدول ۳). کاهش رشد طولی ریشه در بسیاری از گیاهان تحت تنفس شوری گزارش شده است. در این راستا Bernstein و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که در گیاه ریحان، افزایش شوری سبب کاهش طول ریشه و ساقه،

محفوی عناصر سدیم و پتاسیم: جهت سنجش عناصر سدیم و پتاسیم گیاه از روش جذب اتمی استفاده شد. بدین جهت ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی خشک در ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ حل نموده و سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته تا نمونه به خوبی در اسید حل شود. در پایان، محلول ها با آب دیونیزه به حجم رسیده و مقدار جذب آنها با دستگاه جذب اتمی مدل AA FS 240 تعیین شد (White, 1976).

**سرعت فتوسترنز:** در مرحله ی گلدهی، سرعت فتوسترنز Gas exchange (analyzer, LCA4, ADC, England) توسط دستگاه سنجش تبادلات گازی (analyzer, LCA4, ADC, England) تعیین شد (Alexieva *et al.*, 2001).

**اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز:** فعالیت کاتالاز با روش اسپکترو فوتومتری و براساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن در مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر و براساس روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) محاسبه شد.

**اندازه گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز:** فعالیت با روش اسپکترو فوتومتری و براساس اکسیداسیون گایاکول در مدت ۱۲۰ ثانیه در طول موج ۴۳۶ نانومتر و براساس روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) محاسبه شد.

در نهایت جهت تجزیه واریانس داده ها، از نرم افزار آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

**ارتفاع بوته:** نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که ارتفاع بوته تنها تحت تأثیر اثر اصلی شوری در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بنابر نتایج مقایسه میانگین سطوح شوری، مشاهده شد که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به شرایط شاهد با میانگین ۳۲/۵۶ سانتی متر بود؛ هر چند که با شوری ۴۰

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی مرزه تابستانه

منابع تغییر	آزادی	درجه	طول ریشه	ارتفاع بوته	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	محتوی پتاسیم اندام هوایی
تکرار	۲								۰/۹۰
شوری	۲								۴۰۳**
محلول پاشی	۲								۳۷/۸**
شوری × محلول پاشی	۴								۹/۴۴ ns
خطا	۱۶								۳/۷۲
ضریب تغییرات									۲۱/۶۹
ns * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد									

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	آزادی	درجه	سدیم اندام هوایی	K/NA	نشست الکتروولیت	سرعت فتوستتر	پراکسید هیدروژن	کاتالاز	پراکسیداز
تکرار	۲		۴/۴۲	۶/۱۷	۰/۶۷	۱۸۰	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۹
شوری	۲		۱۲۷**	۱۲۲۳**	۸۲۸**	۵۶۵**	۰/۰۰۱۶**	۰/۰۰۲۸**	۰/۳۸**
محلول پاشی	۲		۱۰/۴۸**	۱۰/۴/۷*	۴۸/۱**	۵۳/۰۱**	۰/۰۰۰۳۴**	۰/۰۰۰۳۴**	۰/۰۳۴**
شوری × محلول پاشی	۴		۳/۶۷*	۸۸**	۲۲/۰۹*	۲/۷۰ ns	۰/۰۰۱۶**	۰/۰۰۱۶**	۰/۰۱۲**
خطا	۱۶		۰/۹۶	۱۷/۹۲	۵/۰۱	۲/۵۵	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۰۰۹
ضریب تغییرات			۲۳/۱۸	۵۱/۰۳	۳/۹۲	۶/۶۱	۸/۰۷	۴/۶۷	۲/۳۳
ns * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد									

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری و محلول پاشی بر صفات مرزه تابستانه

ارتفاع بوته (cm)	طول ریشه (cm)	وزن تر اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن تر ریشه (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)	پتاسیم اندام هوایی (mg/g DM)	سرعت فتوستتر ( $\mu\text{m}/\text{m}^2.\text{s}$ )	پتاسیم اندام	سرعت	کاتالاز	پراکسید هیدروژن	پراکسیداز
۳۲/۵۶ <sup>a</sup>	۲۲/۰۲ <sup>a</sup>	۵/۸۹ <sup>a</sup>	۲ <sup>a</sup>	۰/۸۷ <sup>a</sup>	۰/۳۲ <sup>a</sup>	۱۶/۳۹ <sup>a</sup>	۳/۱۸ <sup>a</sup>	۱۶/۳۹ <sup>a</sup>	*			
۲۸/۴۸ <sup>a</sup>	۲۸/۱۵ <sup>b</sup>	۱/۱۵ <sup>b</sup>	۱۰/۴ <sup>a</sup>	۰/۸۳ <sup>a</sup>	۰/۳۲ <sup>a</sup>	۶/۸ <sup>b</sup>	۲۴/۶ <sup>b</sup>	۶/۸ <sup>b</sup>	۰/۵	۰/۰۵	۰/۰۵	سطوح شوری (mM NaCl)
۲۲/۱۷ <sup>b</sup>	۲۲/۱۷ <sup>b</sup>	۱۷/۴۵ <sup>b</sup>	۱۷/۴۵ <sup>b</sup>	۱/۶۶ <sup>b</sup>	۰/۲۵ <sup>b</sup>	۳/۴۹ <sup>c</sup>	۱۶/۰ <sup>c</sup>	۳/۴۹ <sup>c</sup>	۸۰			
۲۵/۱۱ <sup>b</sup>	۲۵/۱۱ <sup>b</sup>	۱۷/۹۱ <sup>b</sup>	۱۷/۹۱ <sup>b</sup>	۱/۶۴ <sup>b</sup>	۰/۲۸ <sup>a</sup>	۶/۶۳ <sup>b</sup>	۲۲/۱ <sup>b</sup>	۶/۶۳ <sup>b</sup>	*	سطوح		
۲۷/۶۴ <sup>ab</sup>	۲۷/۶۴ <sup>ab</sup>	۱۸/۹۹ <sup>ab</sup>	۱۸/۹۹ <sup>ab</sup>	۱/۸۵ <sup>ab</sup>	۰/۳ <sup>a</sup>	۹/۴۱ <sup>a</sup>	۲۲/۵ <sup>b</sup>	۹/۴۱ <sup>a</sup>	۰/۵	۰/۰۵	۰/۰۵	محلول پاشی
۳۰/۴۶ <sup>a</sup>	۳۰/۴۶ <sup>a</sup>	۲۱/۷۱ <sup>a</sup>	۲۱/۷۱ <sup>a</sup>	۰/۸ <sup>a</sup>	۰/۳۱ <sup>a</sup>	۱۰/۶۳ <sup>a</sup>	۲۶/۸۵ <sup>a</sup>	۱۰/۶۳ <sup>a</sup>	۲	(uM Br)		

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد، تفاوت معنی داری ندارند.

هوایی نیز مشاهده شد که علی‌رغم کاهش وزن خشک اندام هوایی تحت شوری ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به شرایط شاهد، اختلاف آمار معنی‌داری با یکدیگر نداشتند؛ در مقابل تحت شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن خشک اندام هوایی با ۱۷ درصد کاهش به  $1/66$  گرم در بوته رسید که اختلاف آماری معنی‌داری با دو سطح دیگر تیماری داشت (جدول ۳). در بررسی مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول‌پاشی از نظر وزن خشک اندام هوایی نیز مشخص شد که کاربرد هورمون براسینواستروئید به طور معنی‌داری میانگین وزن خشک بوته را بهبود بخشدید به طوریکه سطوح  $0/5$  و  $2$  میکرومولار به ترتیب منجر به افزایش  $13$  و  $25$  درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شرایط شاهد شدند (جدول ۳).

کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در اثر تنش شوری در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است. در این راستا، محققان کاهش وزن خشک اندام هوایی در مرزه خوزستانی Zarehmanesh و همکاران (۲۰۲۰) و مرزه تابستانه Mehdizadeh و همکاران (۲۰۱۹) را تحت تنش شوری اگزارش دادند که مطابق با نتایج این پژوهش بود. در واقع تحت تنش شوری، به جهت کاهش تورژسانس سلول، بزرگ شدن و تقسیم سلولی مختلط شده و رشد گیاه کم می‌شود که نهایتاً کاهش رشد را در پی دارد. این مساله احتمالاً نتیجه اختلال در تعرق، فتوستترز، فرآیندهای متابولیکی گیاه و غیره است. در واقع شوری منجر به بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جذب  $\text{CO}_2$  می‌شود که این کاهش موجب تأمین ناکافی کربن برای رشد می‌گردد. شوری با کاهش سترز تحریک کننده‌های رشد گیاه مانند سیتوکینین و افزایش بازدارنده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک موجب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Ungar, 1991).

تحت این شرایط، یکی از راهکارهای کاهش افت عملکرد محصول در شرایط تنش شوری مدیریت تغذیه گیاه و استفاده از ترکیباتی است که اثرات تنش شوری را تخفیف دهد. براسینواستروئیدها از جمله ترکیباتی هستند که به منظور افزایش تحمل به شوری در گیاهان زراعی مورد استفاده قرار

وزن تر و خشک اندام هوایی و سطح برگ شد. Jamil و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند که طول ریشه و ساقه مهم‌ترین صفات ارزیابی تنش شوری به شمار می‌روند؛ زیرا ریشه در تماس مستقیم با خاک است و آب را از خاک جذب می‌کند و ساقه آن را به سایر قسمت‌های گیاه می‌رساند. این محققان افزودند که کاهش رشد ریشه و ساقه می‌تواند ناشی از اثرات سمی سدیم و کلر و یا عدم تعادل در جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه باشد (Jamil et al., 2006).

در بررسی مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید مشاهده شد که برخلاف تنش شوری، با افزایش سطح کاربرد هورمون براسینواستروئید، طول ریشه به طور معنی‌داری افزایش یافت. بر این اساس مشاهده شد که بیشترین میانگین طول ریشه ( $21/71$  سانتی‌متر) مربوط به سطح  $2$  میکرومولار محلول‌پاشی بود که نسبت به شاهد،  $21$  درصد افزایش را نشان داد (جدول ۳).

**وزن تر و خشک اندام هوایی:** نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از تأثیرپذیری وزن تر و خشک اندام هوایی از اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی بود. مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که میانگین وزن تر اندام هوایی در شرایط شاهد برابر با  $5/89$  گرم در بوته بود که علی‌رغم کاهش شش درصدی تحت شوری  $40$  میلی‌مولار نسبت به شرایط شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل تحت شوری  $80$  میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن تر اندام هوایی  $19$  درصد کاهش و به میانگین  $4/76$  گرم در بوته رسید (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول‌پاشی نیز نشان داد با افزایش کاربرد هورمون براسینواستروئید، وزن تر اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به گونه‌ای که کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به شرایط شاهد ( $4/82$  گرم در بوته) و بیشترین وزن تر مربوط به کاربرد سطح  $2$  میکرومولار هورمون براسینواستروئید ( $5/95$  گرم در بوته) بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۳).

در بررسی مقایسه میانگین اثر شوری بر وزن خشک اندام

یافت؛ به گونه‌ای که میانگین پتانسیم اندام هوایی از ۱۶/۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در شرایط شاهد به ۳/۴۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک در شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم رسید که کاهش ۷۹ درصدی محتوی پتانسیم اندام هوایی را نشان داد (جدول ۳). در مقابل اثرات اصلی محلول پاشی هورمون بر اسینواستروئید نشان داد که با افزایش سطح کاربرد این هورمون، محتوی پتانسیم اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. بر این اساس مشاهده شد که کاربرد سطح ۰/۵ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۴۲ و ۶۰ درصد محتوی پتانسیم اندام هوایی را نسبت به شاهد افزایش دادند که البته از این نظر بین سطوح ۰/۵ و ۲ میکرومولار هورمون اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت و نسبت به شاهد برتری آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

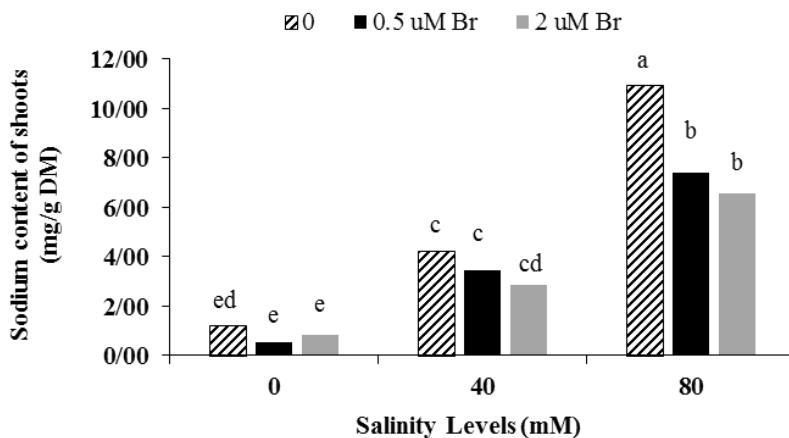
بر خلاف محتوی پتانسیم، از نظر محتوی سدیم اندام هوایی برهمکنش معنی‌داری بین فاکتورهای آزمایشی در سطح پنج درصد مشاهده و ثبت شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول پاشی نشان داد که کمترین میزان سدیم اندام هوایی مربوط به شرایط شاهد (بدون شوری) بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح تیماری هورمون بر اسینواستروئید مشاهده نشد. در مقابل با افزایش شدت تنش شوری محتوی سدیم اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ هر چند که کاربرد سطوح محلول پاشی هورمون بر اسینواستروئید تا حدی توانست از محتوی آن بکاهد. بر این اساس مشاهده شد که بیشترین میانگین سدیم اندام هوایی مربوط به شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون کاربرد محلول پاشی (۱۰/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بود (شکل ۱).

تحقیقات نشان داده که تجمع سدیم در برگ‌ها موجب مسمومیت گیاه شده و اختلال در رشد و جذب عناصر از جمله پتانسیم را به همراه دارد. در این آزمایش از تغییرات مهم در غلظت عناصر در اثر شوری، افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتانسیم بود که با نتایج Zarehmanesh و همکاران (۲۰۲۰) و Mehdizadeh و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

می‌گیرند. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که مصرف بر اسینواستروئیدها موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز و کاتالاز و افزایش محتوای قند و پروتئین‌های محلول در گیاهان تحت تنش می‌شوند که این مکانیسم‌ها جهت سازگاری و کاهش اثرات مخرب تنش شوری در گیاه به شمار می‌رود (پیراسته انوشه و امام، ۱۳۹۸). Sengupta و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش دادند که محلول پاشی بر اسینولید موجب افزایش رشد اندام هوایی ماش گردید که به افزایش بیوسترن اکسین و جیبرلین توسط بر اسینولید نسبت داده شده است. افزایش زیست‌توده، سطح برگ، سرعت فتوسترن، کارایی فتوسیستم دو و افزایش رشد شاخساره و ریشه و افزایش تحمل به شوری در گندم نیز به Brasicina و همکاران نسبت داده شده است (Shahbaz and ۲۰۰۸).

**وزن تر و خشک ریشه:** نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیرپذیری این دو صفت، تنها از اثرات اصلی شوری در سطح یک درصد بود (جدول ۲). مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه نشان داد که در هر دو صفت، اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح صفر و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم وجود نداشت؛ در مقابل تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن تر و خشک ریشه به ترتیب ۳۱ و ۲۳ درصد نسبت به شرایط شاهد خود کاهش یافتند و به کمترین مقدار رسید (جدول ۳). افزایش تنش شوری موجب افزایش تنفس گیاه می‌شود زیرا مقدار زیادی از  $\text{Na}^+$  که از محلول خارجی وارد سلول‌های ریشه می‌شود، احتمالاً دوباره از طریق ناقل‌های غشای پلاسمایی به بیرون بازگردانده می‌شود (Davenport, 2003) و این فرآیند احتمالاً انرژی زیادی مصرف می‌کند و کاهش رشد ریشه گیاه را در پی داشته است.

**محتوی پتانسیم و سدیم:** اثرات اصلی فاکتورهای شوری و محلول پاشی در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر محتوی پتانسیم اندام هوایی در سطح یک درصد داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان پتانسیم اندام هوایی به طور معنی‌داری کاهش



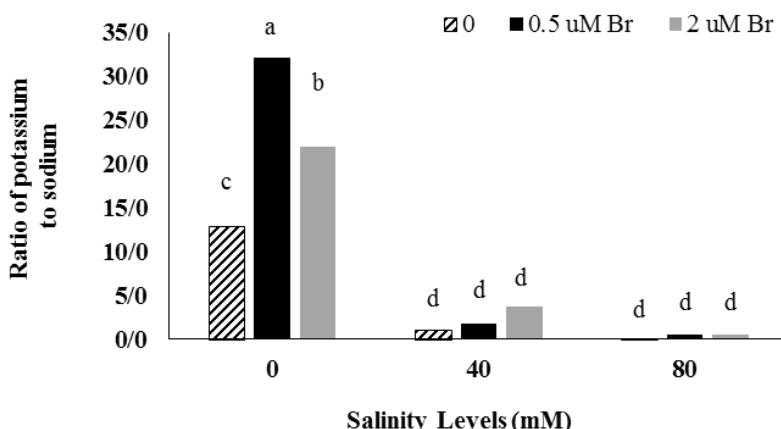
شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول پاشی از نظر صفت محتوی سدیم اندام هوایی

سدیم و کاهش یون پتاسیم در سطوح تحت شوری باشد (Munns and Tester, 2008). تحقیقات نشان داده که تحت این شرایط، توانایی گیاه در حفظ نسبت‌های بالاتری از پتاسیم به سدیم به عنوان یک عامل مهم تحمل به شوری محسوب می‌شود و از این نظر نسبت‌های بالای پتاسیم به سدیم می‌تواند هم از طریق کاهش غلاظت سدیم و هم از طریق کاهش خروج پتاسیم از بافت‌ها به دست آید (Yang *et al.*, 2016).

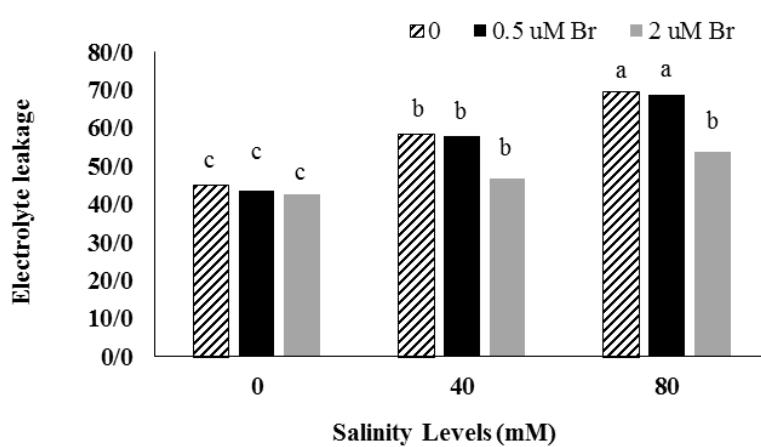
**نشت الکترولیت:** نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار فاکتورهای آزمایشی بر میزان نشت الکترولیت در سطح یک درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین این صفت نشان داد که با افزایش شدت تنفس شوری، میزان نشت الکترولیت به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به گونه‌ای که بیشترین میزان نشت الکترولیت مربوط به تیمارهای صفر و ۸۰ میکرومولار محلول پاشی براسینواستروئید تحت شوری ۰/۵ میکرومولار کلرید سدیم به ترتیب با مقادیر ۶۹/۵ و ۶۸/۸ بود که البته از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل کاربرد سطح ۲ میکرومولار محلول پاشی براسینواستروئید تحت تیمار ۸۰ میکرومولار کلرید سدیم ۲۲/۶ درصد میزان نشت الکترولیت را نسبت به تیمار بدون محلول پاشی تحت شوری ۸۰ میکرومولار کلرید سدیم کاهش داد و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند. (شکل ۳). غشای سلولی از نخستین اندام‌هایی است که تحت

همچنین کاهش جذب پتاسیم در محیط شور می‌تواند ناشی از به هم خوردن تعادل هورمونی گیاه به ویژه سیتوکینین در ریشه باشد. Shahbazi و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثرات محلول پاشی ۲۲-اپیراسینولید (سطوح صفر، ۱ و ۲ میکرومولار) تحت تنفس شوری در گیاه دارویی به لیمو گزارش دادند که با کاربرد محلول پاشی این هورمون، میزان جذب سدیم در اندام هوایی کاهش و میزان پتاسیم افزایش پیدا کرد. این نتایج می‌تواند گویای اثرات تعديل‌کننده اپیراسینولیدها بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه دارویی به لیمو تحت تنفس شوری باشد.

**نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی:** براساس نتایج تجزیه واریانس صفات مشاهده شد که نسبت پتاسیم به سدیم تحت تأثیر برهمکنش فاکتورهای شوری در محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین این صفت نشان داد که بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم مربوط به شرایط شاهد و کاربرد ۰/۵ میکرومولار هورمون براسینواستروئید (با میانگین ۳۲) بود که این نسبت تحت شوری ۴۰ و ۸۰ میکرومولار کلرید سدیم به طور معنی‌داری کاهش یافت و از این نظر مشاهده شد که بین سطوح کاربرد براسینواستروئید اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان داد که تحت تنفس شوری، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافت که این امر می‌تواند ناشی از افزایش جذب یون



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول پاشی از نظر صفت نسبت پتانسیم به سدیم

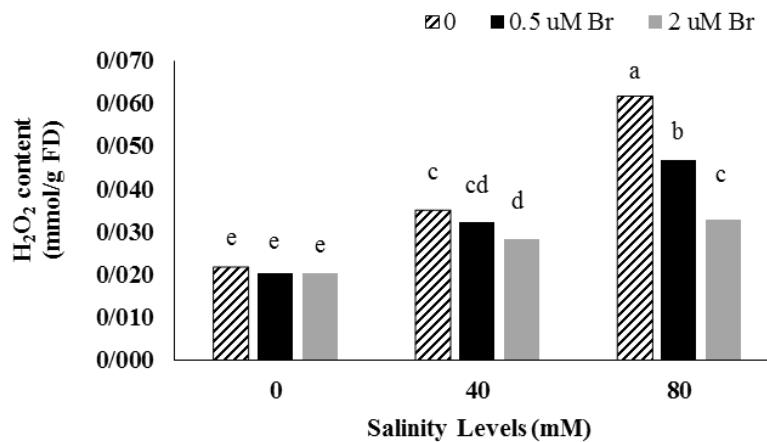


شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول پاشی از نظر صفت نشت الکترولیت

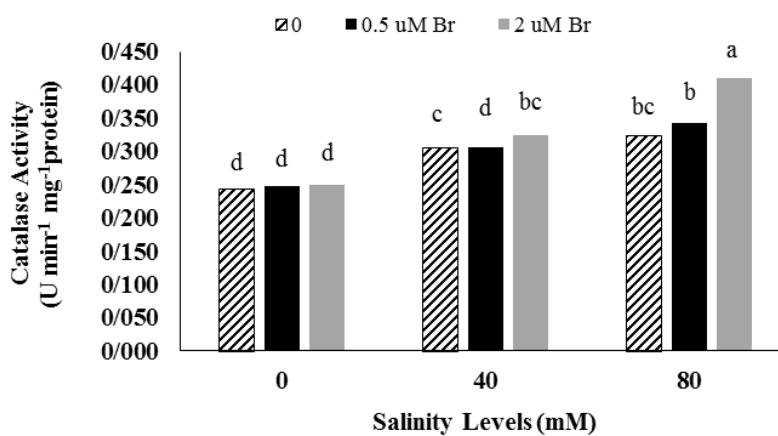
Mazorra *et al.*, 2020) و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش دادند که براسینواستروئیدها با افزایش فعالیت آنتیاکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنژیمی، سبب کاهش آسیب و پراکسیداسیون غشاهاي پلاسمایي و درصد نشت الکترولیت‌ها می‌شوند.

**محتوی پراکسید هیدروژن:** نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که غلاظت پراکسید هیدروژن به طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۲). برهمکنش فاکتورهای آزمایشی نشان داد که در شرایط بدون شوری، بین سطوح محلول پاشی براسینواستروئید اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (۰/۰۲۰، ۰/۰۲۰، ۰/۰۲۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر به ترتیب در سطوح صفر، ۰/۵ و ۲

شرایط نتش، آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول موجب مرگ آن می‌گردد (Liang *et al.*, 2003). بر این اساس، پایداری غشاء سلولی می‌تواند به عنوان معیاری از تحمل به نتش در نظر گرفته شود. به نظر می‌رسد که پایداری غشاء سلولی در نتش‌ها با ویژگی‌های سیستم فتوستتری، از جمله آنزیم‌های کلیدی و غشاهاي تیلاکوئیدی مرتبط است (Aydin *et al.*, 2012). تحت این شرایط گزارش شده است که کاربرد براسینواستروئید تأثیر مثبت و بهبود دهنده‌ای در کاهش میزان نشت مواد محلول از غشا داشته که این کاهش خسارت به غشا در استفاده از براسینواستروئید را می‌توان به عنوان راهکاری برای افزایش مقاومت به نتش در گیاهان دانست که ممکن است با تولید ترکیبات آنتیاکسیدانی Darabi *et al.* برای کاهش خسارت نتش اکسیداتیو همراه باشد



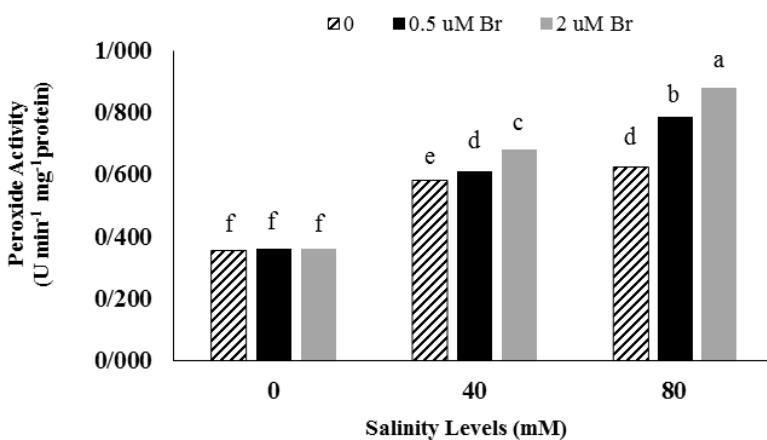
شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلولپاشی از نظر محتوی پراکسید هیدروژن



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلولپاشی از نظر فعالیت کاتالاز

سلول‌ها قرار گیرد (Henzler and Steudle, 2000). اکسیداسیون اسیدهای چرب در گلی اکسی‌زوم به وسیله آنزیم استیل-کوآنزیم A اکسیداز نیز سبب تولید پراکسید هیدروژن می‌شود. در چرخه تنفس نوری هم، در شرایطی که ثبت کربن در کلروپلاست با محدودیت مواجه شود، فعالیت اکسیژنازی رابیسکو افزایش یافته و سبب تولید گلیکولات در پراکسی‌زوم شده و تولید پراکسید هیدروژن می‌کند (Burhans et al., 2009). علاوه بر این موارد، ثابت شده است که مهار سوپراکسید ( $O_2^{2-}$ ) توسط سوپراکسید دیسموتاز نیز منجر به تولید پراکسید هیدروژن می‌شود که در ادامه این ترکیب توسط آنزیمهای آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز حذف می‌شود. هم راستا با نتایج این پژوهش، گزارشات مختلفی مبنی بر تولید و تجمع پراکسید هیدروژن در گیاهان تحت شرایط تنش شوری در

میکرومولار محلولپاشی براسینوسترودئید، اما با افزایش شدت تنش شوری، محتوی پراکسید هیدروژن به طور معناداری افزایش یافت که البته اعمال سطوح محلولپاشی براسینوسترودئید توانست تا حدی محتوی آن را کاهش دهد (در شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، میانگین محتوی این ترکیب در سطوح صفر، ۰/۵ و ۲ میکرومولار محلولپاشی به ترتیب برابر با ۰/۰۶۲، ۰/۰۴۷ و ۰/۰۳۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر بود). بر این اساس مشاهده شد که بیشترین محتوی پراکسید هیدروژن مربوط به تیمار شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بدون کاربرد محلولپاشی براسینوسترودئید (۰/۰۶۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر) بود (شکل ۴). پراکسید هیدروژن مولکولی نسبتاً پایدار است که به واسطه نیمه عمر بالاتر، می‌تواند به جایگاه‌های دیگر سلولی مهاجرت کرده یا در مجاورت



شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول پاشی از نظر فعالیت پراکسیداز

به عنوان اصلی‌ترین آنژیم‌های مهارکننده گونه‌های اکسیژن واکنشگر از جمله پراکسید هیدروژن به شمار می‌روند و نقش فعالی در سیستم دفاعی سلولی و سمزدایی اکسیژن‌های واکنشگر بر عهده دارند (Mittler, 2002). افزایش فعالیت این آنژیم‌ها تحت تنش شوری توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Abdallah *et al*, 2016; Yazici *et al*, 2007; اسماعیل‌پور جهرمی و یونسی، ۱۳۹۷).

نتیجہ گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر پذیری صفات مورد بررسی از فاکتورهای شوری و محلول پاشی هورمون براسینو استروئید بود. بر این اساس مشاهده شد که صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و محتوی پتاسیم اندام هوایی تحت شوری ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم به ترتیب با ۱۹، ۳۲، ۲۱، ۳۱، ۳۱ و ۷۹ درصد نسبت به شرایط شاهد کاهش یافتند. در مقابل کاربرد هورمون براسینو استروئید به ویژه در سطح ۲ میکرومولار سبب افزایش میانگین ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و محتوی پتاسیم اندام هوایی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که علی‌رغم کاهش میانگین صفات رشدی مورد مطالعه تحت شوری ۴۰ میلی مولار کلرید سدیم، اختلاف آماری معنی‌داری بین شرایط شاهد و این سطح شوری (۴۰ میلی مولار کلرید سدیم) مشاهده نشد که بیانگر تحمل

دست است (اسماعیل پور جهرمی و یونسی، ۱۳۹۷). در مقابل نتایج این پژوهش گویای تأثیر مثبت محلول پاشی بر اسینواستروئید بر کاهش محتوی تولید پراکسید هیدروژن است.

فعالیت آنژیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز بر همکنش فاکتورهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر فعالیت آنژیم‌های کاتالاز و پراکسیداز داشت (جدول ۲). بررسی فعالیت کاتالاز نشان داد که در شرایط بدون سوری اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح محلول‌پاشی وجود نداشت و تحت این شرایط کمترین فعالیت کاتالاز مشاهده شد. در مقابل با افزایش شدت تشنج سوری، فعالیت آنژیم کاتالاز به طور معنی‌داری افزایش یافت و از این نظر مشاهده شد که کاربرد محلول‌پاشی براسینواستروئید سبب افزایش فعالیت آنژیمی کاتالاز شد؛ به گونه‌ای که بیشترین فعالیت این آنژیم مربوط به تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد ۲ میکرومولار براسینواستروئید هورمون بود (۰/۴۱۰). بررسی فعالیت بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) بود (شکل ۵). بررسی فعالیت آنژیم پراکسیداز نیز نشان داد که بیشترین فعالیت این آنژیم ۰/۸۸۱ واحد آنژیمی بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد ۲ میکرومولار براسینواستروئید بود و از این نظر نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی اختلاف آماری معنی‌داری داشت (شکل ۶). آنژیم‌های کاتالاز و پراکسیداز از مهم‌ترین آنژیم‌های آنتی‌اکسیدان بوده که

میلی‌مولار کلرید سدیم و ۲ میکرومولار براسینواستروئید (به ترتیب با مقادیر ۰/۴۱۰ و ۰/۸۸۱ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم بر پروتئین) بود. به طور کلی براساس نتایج حاصل از این پژوهش مشخص شد که محلول پاشی براسینواستروئید به ویژه سطح ۲ میکرومولار توانست از طریق بهبود سرعت فتوستترز، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سبب بهبود رشد مرزه شود.

نسبی مرزه تابستانه به این میزان از سطح شوری است. بررسی تغییرات محتوی پراکسید هیدروژن نیز نشان‌دهنده اثرات افزاینده تنش شوری بر میزان پراکسید هیدروژن بود؛ ولی کاربرد محلول پاشی براسینواستروئید توانست به طور مطلوبی محتوی این ترکیب را کاهش دهد. با افزایش شدت شوری، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نیز افزایش معناداری یافت. بیشترین فعالیت کاتالاز و پراکسیداز مربوط به تیمار ۸۰

#### منابع

اسماعیل‌پور جهرمی، م. و یونسی، ا. (۱۳۹۷) ارزیابی برخی صفات فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). در واکنش به تلقیح میکوریزایی تحت تنش شوری. مجله زیست‌فناوری گیاهان دارویی ۴: ۵۸-۶۹.

بابالار، م.، محتمسی، س.، تبریزی، ل. و روشن، و. (۱۳۹۵) تأثیر سطوح مختلف سولفات‌آمونیوم بر رنگیزه‌های نورساختی، میزان و اجزای اسانس مرزه تابستانه رقم اصلاح شده ساترن (*Satureja hortensis* L. cv Saturn). مجله علوم باگبانی ایران ۴۷: ۴۸۱-۴۹۰.

پیراسته انوش، م. و امام، ی. (۱۳۹۸) نقش تنظیم‌کننده‌های رشد در افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط شور، از تئوری تا عمل. نشریه علوم زراعی ایران ۲۱: ۱۸۸-۲۰۹.

رازقندی، ج. (۱۳۹۳) بررسی میزان تحمل به شوری در پنج اکوتیپ مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

- Abdallah, M. S., Abdelgawad, Z. A. and El-Bassiouny, H. M. S. (2016) Alleviation of the adverse effects of salinity stress using trehalose in two rice varieties. South African Journal of Botany 103: 275-282.
- Alexieva V., Sergei, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell Environment 24: 1337-1344.
- Anwar, A., Liu, Y., Dong, R., Bai, L., Yu, X. and Li, Y. (2018) The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: A review. Biological Research 51.
- Aydin, A., Kant, C. and Turan, M. (2012) Humic acid application alleviate salinity stress of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. African Journal of Agriculture 7: 1073-1086.
- Bernstein, N., Kravchik, M. and Dudai, N. (2009) Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Osimum basilicum*) in relation to alteration of morphological development. Annals of Applied Biology 156: 167-177.
- Burhans, W. and Heintz, N. (2009) The cell cycle is a redox cycle: linking phase-specific targets to cell fate. Free Radical Biology and Medicine 47: 1282-94.
- Choudhary, S. P., Yu, J. Q., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. and Tran, L. S. P. (2012) Benefits of brassinosteroid crosstalk. Trends in Plant Science 17: 594-605.
- Darabi, F., Abbasi, N. and Zare, J. (2020) Evaluation of the effect of putrescine and brassinosteroids on induction of drought tolerance and change of physiological activities in basil (*Ocimum basilicum* L.). Environmental Stresses in Agricultural Sciences 13: 1183-1202.
- Dhindsa, R. S., Dhindsa, P. and Thorpe, T. (1981) Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid per oxidation and decrease levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany 32: 93-101.
- Gholami, A. A. (2018) Hormones brassinososteroids effects of plant. Journal of Biosafety 11: 23-32.
- Henzler, T. and Steudle, E. (2000) Transport and metabolic degradation of hydrogen peroxide in *Chara corallina*: Model calculations and measurements with the pressure probe suggest transport of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> across water channels. Journal of Experimental Botany 51: 2053-2066.

- Hong, Z., Ueguchi-Tanaka, M., Shimizu-Sato, S., Inukai, Y., Fujioka, S., Shimada, Y. and Matsuoka, M. (2002) Loss-of-function of a rice brassinosteroid biosynthetic enzyme, C-6 oxidase, prevents the organized arrangement and polar elongation of cells in the leaves and stem. *The Plant Journal* 32: 495-508.
- Jamil, M., Lee, D. B., Jung, K. Y., Ashraf, M., Lee, S. C. and Rha, E. S. (2006) Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetable species. *Journal of Central European Agriculture* 7: 273-282.
- Jamzad, Z. (2009) *Thymus and Satureja Species of Iran*. Research, Institute of Forests and Rangelands Publication.
- Khrapach, V. A., Zhabinskii, V. N. and Groot, A. E. (1998) *Brassinosteroids: A New Class of Plant Hormones*. Academic press. United States of America.
- Krishna, P. (2003) Brassinosteroid-mediated stress responses. *Plant Growth Regulation* 22: 353-364.
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, W. and Ding, R. (2003) Exogenous silicone increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots or salt- stressed barley (*Hordeum vulgare L.*). *Journal of Plant Physiology* 99: 872-878.
- Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa L.*) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389-398.
- Mazorra, L. M., Holton, N., Bishop, G. J. and Nunez, M. (2011) Response in tomato brassinosteroid mutants indicates that thermotolerance is independent of brassinosteroid homeostasis. *Plant Physiology Biochemistry* 49: 1420-1428.
- Mehdizadeh, L., Moghadam, M. and Lakzian, A. (2019) Effect of biochar on growth characteristics and potassium to sodium ratio of summer savory (*Satureja hortensis L.*) under sodium chloride stress. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 12: 595-606.
- Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7: 405-410.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Sengupta, K., Banik, N. C., Bhui, S. and Mitra, S. (2011) Effect of brassinolide on growth and yield of summer green gram crop. *Journal of Crop and Weed* 7: 152-154.
- Shahbaz, M. and Ashraf, M. (2008) Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum L.*). *Plant Growth Regulation* 55: 51-64.
- Shahbazi, M., Amini, F. and Asghari, G. (2013) The effect of 24-epibrassinolide on photosynthetic and non-photosynthetic pigment content and sodium and potassium uptake in lemongrass under salinity stress. The 1<sup>st</sup> National Conference on Salinity Stress in Plants and Solutions Shoor, Tabriz.
- Tester, M. and Davenport, R. (2003) Na<sup>+</sup> tolerant and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany* 91: 503-527.
- Ungar, I. A. (1991) *Ecophysiology of Vascular Halophytes*. CRC Press, Boca Raton.
- 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, Y., Zheng, Q., Liu, M., Long, X., Liu, Z., Shen, Q. and Guo, S. (2016) Difference in sodium spatial distribution in shoot two canola cultivars under saline stress. *Plant, Cell, Physiology* 58: 1010-1019.
- Yazdanparast, R. and Shahriary, L. (2008) Comparative effects of *Artemisia dracunculus*, *Satureja hortensis* and *Origanum majorana* on inhibition of blood platelet adhesion, aggregation and secretion. *Vascular Pharmacology* 48: 32-37.
- Yazici, I., Turkan, I., Sekmen, A. H. and Demiral, T. (2007) Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea L.*) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany* 61: 49-57.
- Zarehmanesh, H., Eisvand, H. R., Akbari, N., Ismaili, A. and Feizian, M. (2020) An investigation of effects of humic acid on changes in nutrients concentration of leaf, root and stem of *Satureja khuzestanica* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function* 10: 1-16.
- Zhiponova, M. K., Vanhoutte, I., Boudolf, V., Betti, C., Dhondt, S., Coppens, F. and Russinova, E. (2013) Brassinosteroid production and signaling differentially control cell division and expansion in the leaf. *New Phytologist* 197: 490-502.

## The effect of brassinosteroid foliar application on growth traits and content of sodium and potassium ions of *Satureja hortensis* under salinity stress

Hadis Zaremanesh

Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

(Received: 05/02/2022, Accepted: 25/10/2022)

### Abstract

In order to investigate the effect of brassinosteroid foliar application on the growth characteristics and content of sodium and potassium ions of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under salt stress, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in the greenhouse of Payam Noor University in Lorestan in 2020. The factors were salinity stress at three levels (0, 40 and 80 mmol/L NaCl) and foliar sprays of brassinosteroid at three levels (0, 0.5 and 2 µmol/L). The largest mean values of plant height (32.56 cm), root length (22.02 cm), shoot fresh weight (5.89 g/plant), shoot dry weight (2 g /plant), root dry weight (0.87 g/plant), and potassium content in plant shoot (16.39 mg/g dry matter) were observed under control conditions (without salinity). These traits declined by 32, 21, 19, 17, 31, 23 and 79%, respectively, under salinity conditions (80 mmol /L NaCl). However, spray of brassinosteroid, especially at 2 µmol /L, increased mean plant height (30.46 cm), root length (21.7 cm), fresh and dry weights of shoot (5.95 and 2.06 g/plant, respectively), and potassium content of aerial organs (10.63 mg/ g dry matter). The interaction effects of the salinity and hormone spray indicated that increases in salinity level significantly improved sodium content of plants (sodium content was 10.93 mg/g dry matter in the treatment of applying 80 µmol/L NaCl and no hormone spray). This led to a drastic reduction in the potassium/sodium ratio (the mean value of this trait was 0.2 in the treatment of applying 80 mmol/L NaCl without hormone spray); however, spray of brassinosteroid somewhat reduced sodium absorption (the sodium content in the treatment of applying 80 mmol/L NaCl and 2 µmol/L of the hormone was 6.56 mg/g dry matter). In general, salinity decreased the studied plant growth traits by disrupting potassium absorption and strongly reducing plant potassium /sodium ratio, but brassinosteroid spray improved the fresh and dry weight of summer savory plants.

**Keywords:** Abiotic stresses, Brassinosteroid, Summer Savory, Growth Hormones, Nutrients

Corresponding author, Email: Hadis\_zaremanesh@pnu.ac.ir