

بررسی اثر شوری و اسید سالیسیلیک روی برخی پاسخ‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان اسانس در گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Effect of Salinity and Salicylic acid on Some Morphological, Biochemical Responses and Essential Oil Content of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

عطیه ساعدی^۱، گیتی حسن‌پورفرد^۲، مجید عزیزی^{۳*} و حسین آروبی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

(مقاله پژوهشی)

چکیده

با توجه به نقش اسید سالیسیلیک در ایجاد مقاومت به تنش‌های محیطی، این پژوهش در دانشگاه فردوسی مشهد به منظور ارزیابی اثر این ترکیب در شرایط آبیاری با آب شور بر روی گیاه دارویی نعنا فلفلی انجام شد. در این آزمایش گلدانی، اثر اسید سالیسیلیک در پنج غلظت (۰ (صفر)، ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ پی‌پی‌ام) و شوری (کلرید سدیم) در سه غلظت (۰ (صفر)، ۷۵، ۱۲۵ میلی‌مولار)، در یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۱۵ تیمار و ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر ساده شوری نشان داد که با افزایش شوری، میزان آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. این در حالی بود که تعداد روز تا گل‌دهی، ارتفاع ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، و نسبت برگ به ساقه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. اثر ساده شوری هم چنین باعث کاهش درصد و عملکرد اسانس گردید. بین غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و شوری برهم‌کنش معنی‌داری از نظر تأثیر بر تعداد شاخه‌های فرعی، وزن خشک بخش زیرزمینی، وزن خشک بخش هوایی، نسبت ریشه به اندام هوایی و درصد اسانس مشاهده شد. هم‌چنین، اثر ساده تیمار اسید سالیسیلیک بر تأخیر گل‌دهی و کاهش ارتفاع بوته معنی‌داری بود. تیمار اسید سالیسیلیک باعث کاهش درصد اسانس گردید. این در حالی بود که این تیمار توانست از کاهش عملکرد اسانس به‌طور معنی‌داری جلوگیری کند. از این‌رو، تیمار اسید سالیسیلیک توانست اثرات احتمالی منفی حاصل از تنش شوری را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، شوری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، نعنا فلفلی

۱، ۲، ۳ و ۴. به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

مشهد، مشهد، ایران

*: نویسنده مسئول Email: azizi@um.ac.ir

مقدمه

محتوای اسانس و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود. غلامزاده علم و همکاران (2022)، در مطالعه‌ی اثر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه تاج‌خروس^۶ تحت تنش شوری مشاهده کردند که اثر متقابل این ترکیب و تنش شوری بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ و گل، وزن تر و خشک برگ، ریشه و ساقه و محتوای رنگیزه‌ها شده است. با بررسی مردانی و همکاران (۱۳۹۰) بر روی تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانهال خیار^۷ تحت تنش خشکی مشاهده شد که: اسید سالیسیلیک میزان سطح برگ را ۱۵ درصد افزایش داد. قطر ساقه، ارتفاع، تعداد برگ، وزن خشک شاخساره و ریشه و بیومس با کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. ارتفاع گیاهچه، وزن خشک شاخساره و سطح برگ با افزایش خشکی کاهش و با کاربرد اسید سالیسیلیک افزایش یافت. کمالی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر روی گل تکمه‌ای در شرایط تنش شوری، بیان داشتند که افزایش تنش شوری تا سطح ۳۰۰ میلی‌مولار، تعداد گل، وزن خشک بخش هوایی و وزن خشک ریشه را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد.

با توجه به این‌که تنش شوری به‌عنوان یک عامل محدودکننده در تولیدات گیاهی مطرح است. بنابراین، تحقیق بر روی مکانیزم مقاومت گیاهان به تنش شوری حائز اهمیت می‌باشد و مقابله با این تنش به صورت‌های مختلفی نظیر استفاده از ترکیبات تنظیم‌کننده رشد که هزینه کم‌تر و کارآیی بالاتری داشته باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به خواص آنتی‌اکسیدانتی و نقش شبه هورمونی اسید سالیسیلیک، در این تحقیق، تأثیر این هورمون بر بهبود و رفع آثار مخرب تنش شوری مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، به جهت ارزیابی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر روی ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان اسانس گیاه نعنا فلفلی در شرایط آبیاری با آب شور به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۲ در محل گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

نعنا فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L. گیاهی علفی و دارای ساقه چهارگوش است که به‌واسطه وجود آنتوسیانین‌ها به رنگ بنفش دیده می‌شود. گل‌های آن بنفش روشن و به‌صورت خوشه‌های مجتمع روی چرخه‌هایی قرار دارند (امیدبیگی، ۱۳۸۶). پس از خشکی، شوری از مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش‌های محیطی در سطح جهان از جمله کشور ایران است (حسینی، ۱۳۸۲). در بسیاری از موارد منشأ شوری از آب آبیاری بوده است. با توجه به هزینه‌های سنگین اصلاح خاک‌های شور و محدودیت منابع آبی شیرین و یا کم شور ایجاد مقاومت نسبت به شرایط شوری با کاربرد ترکیبات مناسب و نیز اطلاع از رفتار گونه‌های مختلف گیاهی و واکنش آن‌ها به شوری امری ضروری می‌باشد (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱). تنش شوری، توانایی گیاه برای جذب آب را کاهش می‌دهد و از این طریق رشد گیاه را کم و موجب اختلال در فرایندهای متابولیسمی گیاه می‌شود (حسنوزمان و همکاران، 2020).

اسید سالیسیلیک یا اسید اورتو هیدروکسی بنزوئیک، مولکول واسطه‌ای مهم که جهت واکنش گیاهان در برابر تنش‌های متعدد زیستی و غیرزیستی شناخته شده است (خان و همکاران، 2015). این ترکیب فنلی طبیعی که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشدی درونی معرفی می‌شود بر طیف وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان پاسخ می‌دهد و تنظیم فرایندهایی از جمله رشد و نمو، فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن و پاسخ‌های دفاعی گیاه بر عهده دارد (نظر و همکاران، 2011). مطالعات مختلفی نشان داده است که اثرات مثبت محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک می‌تواند با توجه به گونه گیاهی، مرحله‌ی رشدی و نحوه کاربرد، غلظت این ترکیب و شدت تنش شوری مرتبط باشد (نظر و همکاران، 2011). برخی مطالعات نشان دادند کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک در گونه‌های گیاهی مانند برنج^۱ (جینی و جوزف، 2017)، ذرت^۲ (تجیب‌العارف و همکاران، 2018)، فلفل^۳ (بین-جومعا و همکاران، 2021) و توت‌فرنگی^۴ (رشدی و همکاران، 2021)، که علائم منفی و نامطلوب ایجاد شده در تنش شوری را بهبود می‌بخشند. اس-بیهی و همکاران (2021) نشان دادند تنش شوری رشد، سنتز کلروفیل و اسانس گیاه مریم‌گلی باغی^۵ را مهار می‌کند. این محققان نشان دادند محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک (غلظت ۰/۵ میلی‌مولار) موجب کاهش محتوای سدیم و متعاقباً افزایش

1. *Oryza sativa* L. (Rice)
2. *Zea mays* L. (Maize)
3. *Capsicum annuum* L. (Peppers)
4. *Fragaria × ananassa* Duch (Strawberry)
5. *Salvia officinalis* L.

6. *Celosia argentea* L.

7. *Cucomis sativus* L.

مواد گیاهی و کاشت

برای کشت استولون‌های گیاه، از گلدان‌هایی از جنس پلاستیک با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. ترکیب خاک مورد استفاده شامل یک قسمت ماسه نرم شسته شده، یک قسمت خاک برگ و دو قسمت خاک باغچه مرغوب بود. در هر گلدان، تعداد ۳ عدد ریزوم ۵ سانتی‌متری از گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) کشت شد. اولین محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر روی گیاهان نعنا فلفلی با غلظت‌های صفر، ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار، ۸ هفته پس از کاشت استولون‌ها و دومین محلول پاشی، ۱۴ روز بعد از محلول پاشی اول انجام شد. یک هفته پس از محلول پاشی دوم (جهت فعال شدن مکانیزم‌های دفاعی گیاه)، تیمارهای شوری در سه غلظت صفر، ۷۵ و ۱۲۵ میلی‌مولار همراه با آب آبیاری بر حسب نیاز آبی، تا اواخر مرحله رویشی به گیاهان اعمال شدند. در مرحله گلدهی خصوصیات مورفولوژیکی، گل‌دهی و صفات فیتوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت.

کلروفیل و کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری میزان رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید، ابتدا ۰/۲ گرم برگ تازه خرد شده با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶ درصد تحت شرایط نور کم و محیط خنک داخل ظرف هاون چینی ساییده و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه انجام شد. پس از قرائت جذب نور محلول حاصل توسط دستگاه اسپکتروفتومتری مدل CE2502 ساخت کشور انگلستان در طول موج‌های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر، غلظت کلروفیل و کاروتنوئید طبق معادلات ذیل محاسبه گردید:

$$\text{Chl}_a \text{ (g/ml)} = 15/65 A_{666} - 7/340 A_{653} \quad \text{فرمول ۱}$$

$$\text{Chl}_b \text{ (g/ml)} = 27/05 A_{653} - 11/21 A_{666} \quad \text{فرمول ۲}$$

$$\text{Chl}_{\text{(total)}} = \text{Chl}_a + \text{Chl}_b \quad \text{فرمول ۳}$$

$$C_{X+C} \text{ (g/ml)} = 1000 A_{470} - 2/860 C_a - 129/2 C_b \quad \text{فرمول ۴}$$

$$C_b / 245$$

که در این فرمول‌ها، Chl_a : کلروفیل a، Chl_b : کلروفیل b، C_{X+C} : کاروتنوئید، A: جذب نوری می‌باشد.

صفات مورفولوژیکی

با مشاهده‌ی علائم ناشی از تنش در برگ‌ها، در زمان پس از مرحله گل‌دهی، صفات مورفولوژیکی شامل، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، سطح برگ در بوته، تعداد برگ در بوته، زیست‌توده، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک بخش زیرزمینی، نسبت برگ به ساقه و نسبت ریشه به اندام هوایی، مورد بررسی قرار گرفت. پس از برداشت گیاهان، وزن تر بخش های هوایی و زیرزمینی به‌طور جداگانه با ترازوی دیجیتال مدل GF-300 ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شدند. سپس، داخل دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا خشک شوند و وزن خشک نمونه‌ها نیز محاسبه گردید. نسبت برگ به ساقه با تقسیم داده‌های وزن خشک برگ و ساقه محاسبه شد. سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ‌سنج مدل Li-Cor- 1300 ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری شد.

آنتوسیانین

جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین برگ از روش واگنر و همکاران (2009) استفاده شد. جذب نوری محلول در طول موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری قرائت شد. غلظت با استفاده از فرمول زیر و با در نظر گرفتن ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ (ϵ) سانتی‌متر بر مول محاسبه شد:

$$A = \epsilon bc \quad \text{فرمول ۵}$$

که در این فرمول A: جذب، b: عرض سل و c: غلظت محلول مورد نظر می‌باشد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانتی

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانتی به روش براند ویلیامز و همکاران (1995)، از رادیکال آزاد DPPH (۲ و ۲- دی فنیل- پیکریل- هیدرازیل) استفاده شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$\%R = AD - AS/AD \times 100 \quad \text{(فرمول ۶)}$$

که در این فرمول R: درصد مهار، AD: جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر، AS: جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر می‌باشد.

گل‌دهی

با توجه به اهمیت گل‌دهی در برداشت نعنا فلفلی این صفت نیز بررسی شد بدین منظور تعداد روز از مرحله کاشت ریزوم تا گل‌دهی بررسی و ثبت گردید.

میزان و عملکرد اسانس

جداسازی اسانس به روش تقطیر با آب و بخار آب و با استفاده از دستگاه کلونجر مطابق با دستورالعمل فارماکوپه اروپا صورت گرفت. مقدار ۵۰ گرم نمونه وزن شده و حجم ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به بالن تقطیر اضافه شد. طول مدت اسانس‌گیری

صفات بیوشیمیایی

در این پژوهش صفاتی مانند میزان رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید، میزان آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی و هم چنین میزان و عملکرد اسانس مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۱۸۰ دقیقه تعیین شد. درصد اسانس بر اساس درصد حجمی و عملکرد اسانس برحسب میلی لیتر در گیاه گزارش شد تجزیه و تحلیل آماری داده‌های این پژوهش توسط نرم‌افزار JMP 8 انجام شد. رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار EXCEL و کلیه مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال خطای ۵ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیک

گل‌دهی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی

نتایج تجزیه واریانس صفات موردبررسی در رابطه با اثر شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که اثر ساده شوری بر تعداد روز تا گل‌دهی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). هم‌چنین، اثر ساده اسید سالیسیلیک بر دو صفت تعداد روز تا گل‌دهی و ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد و بر تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر متقابل اسید سالیسیلیک و شوری نیز، بر تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده شوری نشان داد که با اعمال تنش شوری به تدریج از میانگین تعداد روز تا گل‌دهی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی کاسته شد (جدول ۲). هم‌چنین با افزایش غلظت نمک، تعداد روز از مرحله کاشت ریزوم تا گل‌دهی کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید سالیسیلیک نشان داد که با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، تعداد روز تا مرحله گل‌دهی کاهش یافت (جدول ۲). هم‌چنین، با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک میانگین ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی افزایش پیدا کرد، به طوری که بیش‌ترین ارتفاع بوته و بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی در تیمار ۵۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک به ترتیب، برابر ۴۴/۵۲ سانتی‌متر و ۲۲/۴۴ عدد اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

هم‌چنین، نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل دو تیمار موردبررسی بر صفت تعداد شاخه جانبی نشان داد که کم‌ترین مقدار برای این صفت در شوری ۱۲۵ میلی‌مولار به همراه اسید سالیسیلیک ۵۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد و بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی مربوط به شوری ۷۵ میلی‌مولار و بدون کاربرد اسید سالیسیلیک بود (جدول ۳).

بررسی‌های متعددی نشان دادند اسید سالیسیلیک می‌تواند پارامترهای مختلف مورفولوژیکی گیاه را تحت تنش شوری بهبود بخشد. به‌طور مثال، راثو و همکاران (2021) اثرات بهبود بر روی رشد طول ساقه و ریشه تحت تأثیر این ترکیب در

شرایط شوری بر روی گوجه‌فرنگی^۱ گزارش کردند. کومار و همکاران (2022)، طی بررسی اثر شوری و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی گیاه فلفل در ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت نشان دادند افزایش غلظت نمک موجب کاهش طول ساقه و ریشه در مرحله گل‌دهی شده است. این محققان گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک بر گیاهان تحت تیمار شوری، موجب افزایش طول ساقه و ریشه، تعداد شاخه های جانبی در بوته و نسبت ساقه به ریشه شده است. بیش‌ترین نسبت ساقه به ریشه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی-مولار نمک، در حضور اسید سالیسیلیک گزارش کردند. هم-چنین، تأثیر این ترکیب دفاعی در گیاهان تحت تنش در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار نمک، بیش‌ترین تعداد شاخه‌های جانبی را داشته است. ال-طاهر و همکاران (2022) در بررسی آزمایش اثر شوری بر رشد، ترکیبات شیمیایی و عملکرد گیاه لوبیا چشم‌بلبلی^۲ در مرحله‌ی رویشی اظهار داشتند افزایش تنش شوری، اثر منفی و افزودن اسید سالیسیلیک تأثیر مثبت معنی داری بر ارتفاع بوته، تعداد برگ‌ها و تعداد میان‌گره‌ها می‌گذارد. اما، مطالعه‌ی توران و همکاران (2022)، در بررسی اثر شوری و اسید سالیسیلیک بر گیاه جو^۳ در شرایط هیدروپونیک، کاهش سریع پارامترهای رشدی این گیاه در طول ساقه و ریشه تحت تنش شوری را نشان دادند و کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک نیز نتوانست اثرات منفی تنش شوری را کاهش دهد.

علت کاهش ارتفاع بوته تأثیر شوری بر سطح برگ و کاهش آن به‌خصوص در اواخر رشد رویشی و پس از ورود گیاه به مرحله گل‌دهی می‌باشد که برگ‌ها به تدریج از پایین شروع به ریزش نمودند. در اثر تنش شوری، ارتفاع بوته گیاه زیره سبز نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱). شوری کاهش معنی‌داری در ارتفاع گیاه گاوزبان ایجاد کرده و بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به شاهد و کم‌ترین مربوط به شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین کاهش تعداد شاخه‌های جانبی ممکن است یک نوع سازوکار سازگاری باشد که به‌وسیله آن گیاه تلاش می‌کند اتلاف آب را کاهش دهد. کاهش معنی‌دار شاخه جانبی در اثر شوری توسط حسنی (۱۳۸۲) در ریحان نیز گزارش شده است.

1. *Solanum lycopersicum* L. (Tomato)
2. *Vigna unguiculata* L. (Cowpeas)
3. *Hordeum vulgare* L. (Barley)

مطالعه آن‌ها، وزن تر و زیست‌توده کاهش یافت و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، کاهش رشد را بهبود بخشید اما معنی‌دار نبود. رشدی و همکاران (2021)، اثر اسید سالیسیلیک بر گیاهان توت‌فرنگی را در آزمایش گلدانی تحت تنش شوری در دو سال بررسی و مشخص کردند که وزن تر و خشک ساقه در مقایسه با شاهد، با کاهش (اثر منفی) و در حضور این تنظیم کننده رشد، اثر مثبت قابل توجهی داشت. راتو و همکاران (2021)، نیز در خصوص ویژگی‌های وزن تر و خشک ساقه و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی به نتایج مشابهی دست یافتند. کومار و همکاران (2022)، تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک در افزایش وزن تر و خشک گیاه فلفل تحت تنش شوری را گزارش نمودند. محمدزاده و همکاران (2013)، تأثیر منفی معنی‌دار تنش شوری و مثبت اسید سالیسیلیک را بر نسبت ریشه به بخش هوایی گیاه ریحان^۲ گزارش کردند. ریشه، وظیفه جذب آب و مواد غذایی را بر عهده دارد و تنش شوری عمدتاً از ناحیه ریشه به گیاه وارد می‌شود. بنابراین، ریشه اولین اندامی است که با تنش شوری مواجه می‌شود و با توجه به تنش اسمزی و مکانیزم‌های اجتنابی که در جهت کاهش اثر شوری انجام می‌دهد، مقدار زیادی از انرژی که از اندام‌های هوایی جهت رشد خود دریافت می‌کند، صرف مقابله با تنش شوری می‌نماید و این عمل باعث کاهش توانایی ریشه در جذب آب برای سایر اندام‌ها می‌شود (خلجی، 2012). مجموع این عوامل ممکن است کاهش وزن ریشه را به دنبال داشته باشد. این کاهش رشد در عامل‌های ذکر شده باعث کاهش تولید ماده خشک و نیز میزان عملکرد در شرایط شوری می‌شود. اسید سالیسیلیک، به دلیل نقش مهمی که در سنتز پروتئینی به نام آنزیم کیناز دارد، می‌تواند کاهش رشد را در شرایط تنش شوری جبران کند (رحیمی- تاشی و نیکنام، 2016).

تعداد و سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس صفات فوق در مورد اثر شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که اثر ساده شوری بر تعداد برگ در بوته، در سطح احتمال ۵ درصد و بر سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از ۰ تا ۱۲۵ میلی‌مولار، تعداد و سطح برگ کاهش یافت. بالاترین سطح شوری (۱۲۵ میلی‌مولار)، تعداد برگ در بوته و سطح برگ را در مقایسه با شاهد به ترتیب برابر ۷۲/۰۴ و ۷۱/۳ درصد کاهش داد (جدول ۲). در شرایط تنش، گیاه با کاهش تعداد و یا کوچک‌تر کردن برگ، سطح

زیست‌توده، وزن خشک، نسبت ریشه به بخش هوایی، نسبت برگ به ساقه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات فوق در مورد اثر شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که اثر ساده شوری بر زیست‌توده، وزن خشک بخش زیرزمینی، وزن خشک بخش هوایی، نسبت ریشه به ساقه و نسبت برگ به ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). همچنین، اثر ساده اسید سالیسیلیک بر وزن خشک بخش هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). از سوی دیگر، اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک نیز بر زیست‌توده، وزن خشک بخش هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده شوری بر صفات مورد بررسی نشان داد که با افزایش سطوح شوری، زیست‌توده، وزن خشک بخش زیرزمینی، وزن خشک بخش هوایی، نسبت ریشه به اندام هوایی و نسبت برگ به ساقه در مقایسه با تیمار کنترل کاهش یافت. بدین ترتیب بالاترین سطح شوری (۱۷۵ میلی‌مولار)، وزن خشک بخش هوایی و نسبت برگ به ساقه را در مقایسه با شاهد به ترتیب برابر ۷۰/۱ و ۷۸/۴ درصد کاهش داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید سالیسیلیک نشان داد که با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک میزان زیست‌توده، وزن خشک بخش هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد (جدول ۲). همچنین، نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک و شوری بر صفات فوق نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی (۴۷/۰۷ گرم در بوته) در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک و مربوط به تیمار بدون تنش شوری و کم‌ترین مقدار (۱۶/۸۹ گرم در بوته) برای وزن خشک بخش هوایی در همین سطح شوری و غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان زیست‌توده نشان داد که در شرایط عدم تنش شوری با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک تا سطح ۵۰ پی‌پی‌ام، میزان زیست‌توده افزایش یافت و از ۴۲/۳۷ گرم به ۶۸/۵۶ گرم افزایش داشته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر نسبت ریشه به اندام هوایی نشان داد که با اعمال تنش شوری نسبت ریشه به اندام هوایی در مقایسه با تیمار کنترل کاهش یافت و از ۰/۷۴ به ۰/۳۰ کاهش داشته است (جدول ۳).

ما و همکاران (2017) نشان دادند تنش شوری رشد و نمو گیاه دیانتوس سوپرباس^۱ به‌طور قابل توجهی کاهش داشت. در

فتوسنتز کننده خود را کاهش می‌دهد و متعاقب کاهش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد.

مطالعات مختلفی نشان دادند که اسید سالیسیلیک، اثر منفی تنش شوری بر تعداد و سطح برگ را تعدیل کرده است. راثو و همکاران (2021)، نیز در این مورد تأثیر مثبت این فیتوهورمون را بر تعداد و سطح برگ گیاهان گوجه‌فرنگی عنوان نمودند. محمدزاده و همکاران (2013)، تأثیر منفی معنی‌دار تنش شوری و مثبت اسید سالیسیلیک را بر تعداد و سطح برگ گیاه ریحان گزارش کردند. همچنین، کاهش تعداد و سطح برگ در شرایط شوری توسط حسنی (۱۳۸۲) در گیاه ریحان گزارش شده است.

بررسی صفات بیوشیمیایی

میزان رنگدانه کلروفیل و کاروتنوئید

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان کلروفیل b و کل مشخص شد که در حضور تیمار شوری ۷۵ میلی‌مولار، با افزایش غلظت این هورمون گیاهی، مقدار کلروفیل b و کل کاهش یافت (شکل ۱ الف و ب).

طی مطالعاتی گزارش شده است که مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی بسته به نوع گیاه، مدت و شدت تنش کاهش داشته است. تأثیر تنش شوری بر کاهش کلروفیل a، b و کل در برگ گیاه پسته در پژوهش مهدویان (۱۴۰۰) بررسی شد. این محقق نشان داد تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک محتوای کلروفیل را در مقایسه با گیاهانی که تحت تیمار اسید سالیسیلیک نبودند بهبود یافت. دهستانی اردکانی و همکاران (۱۴۰۰)، مشخص نمود افزایش تنش شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل a، b و کل و کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش میزان کلروفیل‌ها گیاه شاه‌پسند درختچه‌ای^۱ شده است. قاسمی و همکاران (2020) نیز تأثیر تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر روی گیاه به‌لیمو^۲ نتایج مشابهی دست یافتند. کومار و همکاران (2022) گزارش کردند محتوای کلروفیل a و b در دو مرحله رویشی و گل‌دهی تحت تنش شوری کاهش معنی‌داری داشته است و اسید سالیسیلیک در هر دو مرحله موجب افزایش محتوای کلروفیل شد.

نتایج اثر ساده شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری میزان کاروتنوئید کاهش می‌یابد (شکل ۲ الف). به‌طوری‌که مقدار آن از ۲/۰۱ در تیمار ۷۵ میلی‌مولار به ۱/۷۲ در شوری ۱۲۵ میلی‌مولار می‌رسد.

ما و همکاران (2017) نشان دادند تنش شوری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دیانتوس سوپرپاس کاروتنوئید، کلروفیل a و b را کاهش داده است و اثر افزودن اسید سالیسیلیک نیز در مقایسه با شاهد (آب‌مقطر با اسید سالیسیلیک) منفی بود. اما در پژوهش سال ۲۰۱۸ میلادی، احمد و همکاران، نشان دادند سالیسیلیک اسید موجب افزایش کاروتنوئیدها گیاه باقلا تحت تنش شوری شد. در سال 2022 میلادی، کومار و همکاران محتوای کاروتنوئید در گیاهان بدون اعمال اسید سالیسیلیک، در مرحله رویشی تنها در غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار نمک افزایش قابل‌توجهی داشته است. اما در مرحله گل‌دهی، غلظت ۵۰ میلی‌مولار بیش‌تر بوده است. این محققان بیان داشتند افزایش معنی‌داری در محتوای کاروتنوئید همه تیمارها در مرحله‌ی گل‌دهی، به‌ویژه ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نمک و اسید سالیسیلیک به‌دست‌آمده است. ال-طاهر و همکاران (2022) بیان داشتند شوری محتوای رنگدانه فتوسنتزی شامل کاروتنوئید (به‌جز کلروفیل a و b در دو غلظت ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام) در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی را کاهش می‌دهد و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک ۱۰۰ پی‌پی‌ام، موجب بهبود محتوای هر سه رنگدانه فتوسنتزی می‌گردد.

کاروتنوئیدها از مشخصات ایزوپروئوئیدی هستند که یکی از مهم‌ترین وظایف آن‌ها فعالیت ضداکسیداسیونی و دفع رادیکال‌های آزاد اکسیژن حاصل از تنش شوری در گیاه است. به همین دلیل احتمال داده می‌شود که گیاهان قرار گرفته در شرایط تنش اسمزی به‌منظور کاهش صدمات ناشی از افزایش میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن در بافت‌ها میزان کاروتنوئید را در بافت‌های فتوسنتزی خود بالا می‌برند. کاروتنوئیدها نقش مهمی در حفاظت از غشاهای کلروپلاستی دارند (ژان و همکاران، 2005). کاهش محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها می‌تواند با تخریب ساختار کلروپلاست، دستگاه فتوسنتزی و پیش‌ماده‌هایی در مسیر سنتز کلروفیل و یا اختلال هورمونی و یا فعال شدن کلروفیل‌از صورت پذیرد (نئوکلوئوس و واسیلاکاکیس^۳، 2007).

میزان آنتوسیانین

نتایج اثر ساده شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از صفر تا ۱۲۵ میلی‌مولار مقدار آنتوسیانین کاهش یافت (شکل ۲-ب). به‌طوری‌که این مقدار در شرایط عدم اعمال شوری از ۰/۰۹۴ به ۰/۰۶۹ در شدیدترین سطح نمک رسید. آنتوسیانین نیز مشابه فلاونوئید، یک رنگیزه محافظ می‌باشد که گیاه را در شرایط تنش به‌خصوص تنش شوری محافظت می‌کند. در

1. *Lantana camara* Linn.

2. *Lippa citriodora* (Lemon verbena)

3. Neocleous and Vasilakakis

گیاه بالنگوی شهری^۱ اضافه شد و گیاهان شاهد کمترین و گیاهان تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار با اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار بیشترین درصد اسانس دارا بودند. مطالعه‌ی گوهری و همکاران (2013)، کاهش درصد اسانس گیاه ریحان را گزارش نمود. تنش‌ها ممکن است محتوای اجزای اسانس را تغییر داده که می‌تواند به علت تغییر مسیرهای بیوسنتزی ترکیبات باشد (ژنرکاو و وارمن، 2003). در مطالعه‌ی اس-بیهی و همکاران (2021)، تنش شوری باعث مهار سنتز اسانس گیاه مریم‌گلی باغی شد. با توجه به این‌که نعنا یک گیاه آب‌دوست است و نیاز آبی آن با گیاهان دیگری همچون بالنگو و ... تفاوت دارد احتمالاً کاهش اسانس نعنا در این تحقیق به این اختلاف برمی‌گردد.

عملکرد اسانس

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده شوری نشان داد که با اعمال تنش شوری، عملکرد اسانس نسبت به تیمار کنترل کاهش داشت. بر این اساس، بالاترین عملکرد اسانس در تیمار شاهد برابر ۳/۲۳ میلی‌متر در بوته اندازه‌گیری شد (جدول ۴). نتایج بیش‌تر تحقیقات انجام‌گرفته حکایت از کاهش درصد و عملکرد اسانس گیاهان در اثر شوری دارد. عندلیبی و همکاران (۱۴۰۰)، در بررسی گیاه بالنگوی شهری نشان دادند عملکرد اسانس در تنش نمک، نسبت به شاهد، افزایش داشته و در تیمار ۵۰ میلی‌مولار شوری بیش‌ترین عملکرد اسانس داشته اما در ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش داشت. برهم‌کنش اسید سالیسیلیک و شوری نیز، در پژوهش این محققان روند افزایشی مشاهده شد. اگرچه از میان عوامل محیطی ممکن است شوری بر بیوسنتز اسانس اثر گذاشته باشد و ترکیب را تغییر دهد، ژنوتیپ هم می‌تواند یکی از عوامل موثر باشد (کاروئی باروئی و همکاران، 2009). مطالعه‌ی گیاه مرزنجوش^۲ (اولفا باتور و همکاران، 2009) کاهش عملکرد اسانس را تحت تیمار شوری گزارش کردند. چون عملکرد اسانس تابعی از درصد اسانس و عملکرد گیاه می‌باشد بنابراین کاهش عملکرد اسانس در نتیجه تنش شوری ممکن است ناشی از اثر زیان‌بار تنش اسمزی بر رشد و پیکر رویشی گیاه باشد به‌عبارت‌دیگر با کاهش عملکرد پیکر رویشی گیاه نعنا فلفلی در شرایط شوری عملکرد اسانس نیز کاهش می‌یابد.

پژوهشی مهدویان (۱۴۰۰)، گزارش کرد شوری موجب کاهش محتوای آنتوسیانین گیاهان پسته شده و اسید سالیسیلیک، کاهش محتوا را تعدیل نمود. نتایج فاضلی و همکاران (۱۳۹۶)، نشان داد تنش شوری، کاهش معنی‌دار آنتوسیانین شود و تیمار با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش، موجب شد محتوای آنتوسیانین گیاه سیاهدانه افزایش یابد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی

نتایج اثر ساده شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری خاصیت آنتی‌اکسیدانتی نیز افزایش یافت (شکل ۲ ج). بالاترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی در تیمار شوری ۱۲۵ میلی‌مولار و کم‌ترین آن در تیمار با شوری صفر میلی‌مولار به‌ترتیب برابر ۷۸/۹۹ و ۷۷/۳۹ اندازه‌گیری شد. آنتی‌اکسیدان‌ها موادی هستند که اکسیداسیون را تا زمانی که در مقادیر جزئی وجود دارند مهار می‌کنند یا به تأخیر می‌اندازند. تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در افزایش فعالیت پلاپلاندگی رادیکال DPPH را به‌طور غیرمستقیم می‌توان مربوط به نقش اسید سالیسیلیک در افزایش مقدار ترکیبات فنلی برگ نعنا فلفلی دانست. مطالعه فاضلی و همکاران (۱۳۹۶) بر روی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه سیاهدانه تحت تنش و کاربرد اسید سالیسیلیک، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را گزارش کرد. تنش شوری رشد و مورفولوژی گیاهان را با تأثیر بر فتوسنتز، پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی، تجمع اسمولیت‌ها و متابولیسم پرولین محدود می‌کند (رئوسوس و همکاران، 2013). اسید سالیسیلیک احتمالاً می‌تواند اثرات تنش شوری را از طریق افزایش فعالیت فرایندهای فتوسنتزی کاهش دهد.

میزان اسانس

درصد اسانس

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده شوری نشان داد که با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۲۵ میلی‌مولار درصد اسانس کاهش پیدا کرد (جدول ۴). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک نیز درصد اسانس کاهش یافت. هم‌چنین، بیش‌ترین درصد اسانس در تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰ پی‌پی‌ام و عدم اعمال شوری برابر با ۲/۸۴ درصد اندازه‌گیری شد و کم‌ترین درصد اسانس در شوری ۱۲۵ میلی‌مولار و اسید سالیسیلیک ۱۰۰ پی‌پی‌ام به دست آمد (شکل ۴).

مطالعات دیگری بر روی اثر ساده تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس انجام شده است. عندلیبی و همکاران (۱۴۰۰)، نشان دادند با افزایش شوری، درصد اسانس

1. *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch and C. A. Mey

2. *Origanum majorana* (Marjoram)

جدول ۱: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای شوری و اسید سالیسیلیک روی برخی صفات مورفولوژیک مورد ارزیابی گیاه نعنا فلفلی

Table 1: Analysis of variance (mean square) the effect of salinity and salicylic acid on some evaluated morphological characteristics of peppermint plant

تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های جانبی Side branches	زیست‌توده Biomass	وزن خشک بخش زیرزمینی Dry weight of underground	وزن خشک بخش هوایی Dry weight of shoot	نسبت ریشه به اندام هوایی Ratio of root to shoot dry weight	نسبت برگ به ساقه Ratio of leaf to stem	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variation
338.42**	688.44**	822.2**	548.57**	216.23**	83.19**	0.24**	2.165**	6.27**	6762.86*	2	شوری Salinity
75.42**	308.78**	71.42*	144.20 ^{ns}	18.95 ^{ns}	97.24*	0.09*	0.17 ^{ns}	0.26 ^{ns}	4148.86 ^{ns}	4	اسید سالیسیلیک Salicylic acid
5.58 ^{ns}	14.46 ^{ns}	63.42*	418.32**	16.56 ^{ns}	404.39**	0.18**	0.37 ^{ns}	0.74 ^{ns}	706.53 ^{ns}	8	شوری × اسید سالیسیلیک Salinity × Salicylic acid
6	24.06	23.91	66.95	18.80	28.92	0.02	0.23	0.62	1705.44	30	خطای آزمایشی Error

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۱ و ۵ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

** and *: Respectively significant at 1 and 5% probability level, and ns: is none significant differences, respectively

جدول ۲: مقایسه میانگین اثرات ساده شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفولوژیک مورد ارزیابی گیاه نعنا فلفلی

Table 2: Mean comparison of some morphological characteristics after treatment of salinity and salicylic acid of peppermint plant

تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های جانبی Side branches	زیست‌توده (گرم) Biomass (g)	وزن خشک بخش زیرزمینی (گرم در گیاه) Dry weight of underground (g/Plant)	وزن خشک بخش هوایی (گرم در گیاه) Dry weight of shoot (g/Plant)	نسبت ریشه به اندام هوایی Ratio of root to shoot dry weight	نسبت برگ به ساقه Ratio of leaf to stem	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm ²)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تیمار Treatment
96.46a	42.31a	25.53a	55.74a	21.18a	34.55a	0.71a	2.51a	609.23a	151.93a	0
88.26b	35.77b	18.53b	44.27b	14.40b	31.81ab	0.52b	1.78b	516.66a	130.80ab	75
85.13c	28.76c	10.73c	46.67b	14.83b	29.86b	0.47b	1.97b	313.05b	109.46b	125
92.88a	31.20c	16.66b	46.63ab	17.60a	29.02b	0.68a	2.17a	484.92ab	124.66ab	0
90.88ab	30.64c	18.66ab	46.64ab	14.52a	32.12ab	0.49b	2.7a	391.10b	111.11b	5
89.77b	33.25c	114.88b	54.00a	18.11a	35.88a	0.51b	2.07a	393.38b	111.44b	10
85.55c	44.52a	22.44a	52.32ab	17.55a	34.77a	0.49b	2.17a	578.30a	158.44a	50
87.33c	38.46b	18.66ab	44.88b	16.24a	28.59b	0.67a	1.85a	512.08ab	148.00ab	100

میانگین‌هایی که در هر ستون برای هر عامل دارای حروف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند (p < 0.05)
Mean in each column for each treatment that followed by the same letter has no significant difference according to LSD test

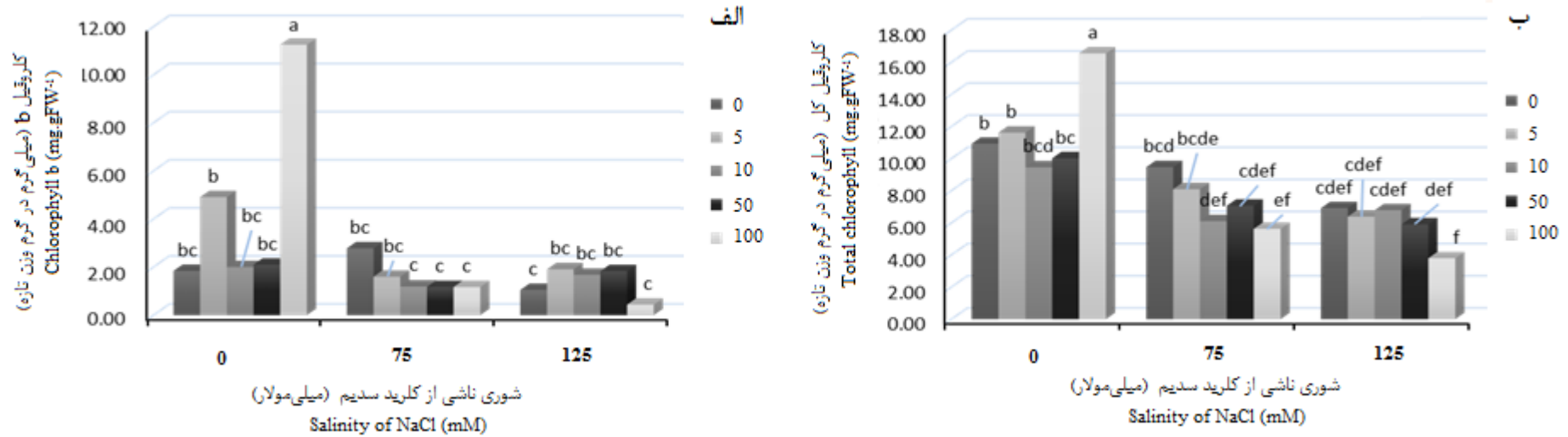
جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفولوژیک مورد ارزیابی گیاه نعنا فلفلی

Table 3: Mean comparison of the average interaction of salinity and salicylic acid on some evaluated morphological characteristics of peppermint plant

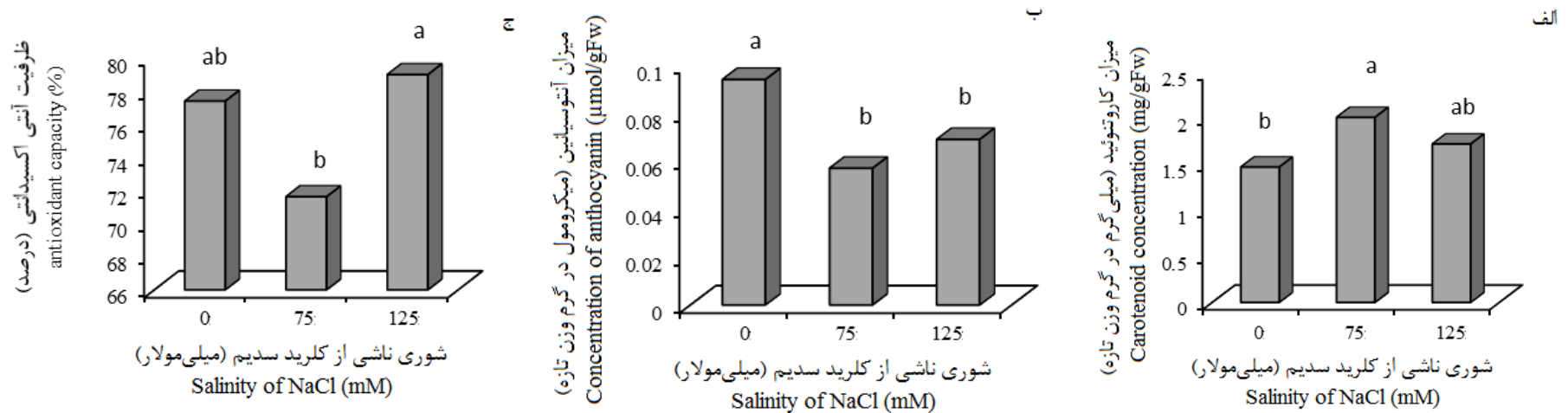
تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های جانبی Side branches	زیست‌توده (گرم) Biomass (g)	وزن خشک بخش زیرزمینی (گرم در گیاه) Dry weight of underground (g/Plant)	وزن خشک بخش هوایی (گرم در گیاه) Dry weight of shoot (g/Plant)	نسبت ریشه به اندام هوایی Ratio of root to shoot dry weight	نسبت برگ به ساقه Ratio of leaf to stem	سطح برگ (سانتی مترمربع) Leaf area (cm ²)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	اسید سالیسیلیک (پی‌پی‌ام) Salicylic acid (ppm)	شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)
82.66fg	51.53a	22.66abcd	42.37ef	20.85ab	21.51efg	0.96ab	1.91cde	604.32abcde	163.33ab	0	
87.66de	43.76abc	24.66abc	59.43abc	15.59bc	43.84a	0.35de	2.14bcd	709.92a	144.00abcd	5	
82.33g	38.30bcde	28.00ab	71.28a	24.21a	47.07a	0.53cde	1.68de	702.88abcd	184.00a	10	0
85.66efg	39.13bcd	29.00a	68.56ab	25.11a	43.44a	0.57cd	1.28e	456.25abcde	125.00abcd	50	
87.33de	38.83bcd	23.33abc	37.04f	20.15abc	16.89g	1.1a	1.88cde	567.58abc	143.33abcd	100	
84.00efg	46.06ab	30.00a	41.29ef	16.79bc	24.50defg	0.74bc	2.75ab	664.75abc	163.33ab	0	
88.00de	36.56cde	20.00bcde	33.49f	13.96bc	19.53fg	0.71bc	2.27abcd	431.91bcde	126.66abcd	5	
86.66def	33.56def	16.66cdef	46.73cdef	14.27bc	32.45cd	0.43de	2.50abc	473.70abcd	124.66abcd	10	75
90.00cd	32.26def	14.00efg	45.44def	14.04bc	31.40d	0.44de	3.03a	569.52ab	126.00abcd	50	
92.66c	30.40efg	12.00efg	54.41cde	12.96c	41.45ab	0.30e	2.01bcde	449.92abc	113.33bcd	100	
90.00cd	35.96cdef	14.66defg	56.22bcd	15.16bc	41.06abc	0.36de	1.86cde	471.25cde	148.66abc	0	
93.66bc	35.06def	11.33fg	47.00cdef	14.02bc	32.95bcd	0.42de	2.10bcde	344.08bcde	103.33bcd	5	
93.00bc	27.90fgh	11.33fg	43.99def	15.86bc	28.13def	0.56cd	2.04bcde	374.86cde	135.33abcd	10	125
97.00ab	27.20h	7.00g	42.95def	13.48c	29.46de	0.45de	2.20bcd	201.65e	83.33cd	50	
98.66a	22.70gh	9.33fg	43.19def	15.62bc	27.43def	0.56cd	1.67de	201.61e	76.66d	100	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند (p<0.05)

Mean in each column for each treatment that followed by the same letter has no significant difference according to LSD test



شکل ۱: اثر متقابل سطوح مختلف شوری و اسید سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل b (الف) و کلروفیل کل (ب) در گیاه دارویی نعنا فلفلی
 Fig. 1: The effect of salinity and salicylic acid on the amount of chlorophyll b and total chlorophyll concentration in the peppermint medicinal plant



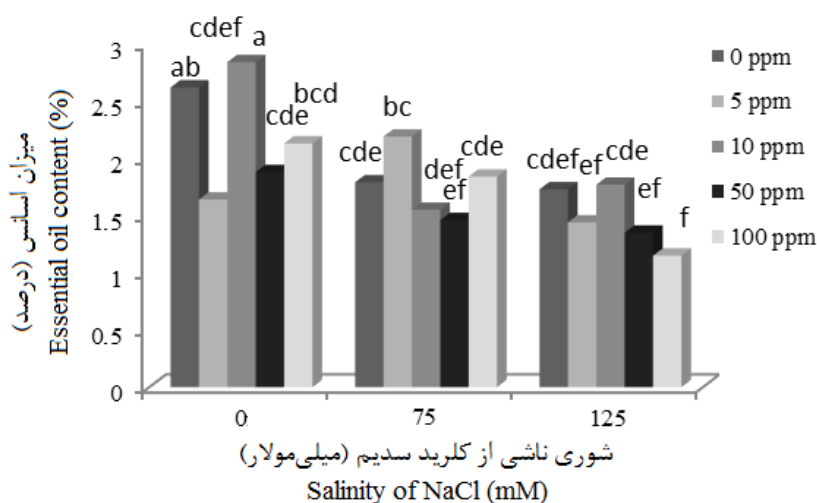
شکل ۲: اثر ساده سطوح مختلف شوری بر میزان کاروتنوئید (الف)، آنتوسیانین (ب) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی (ج) در گیاه دارویی نعنا فلفلی
 Fig. 2: The effect of salinity on the amount of carotenoids, capacity of antioxidant and anthocyanin in the herb peppermint

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات ساده شوری و اسید سالیسیلیک بر درصد و عملکرد اسانس در نعنا فلفلی

Table 4: Mean comparison of the effects of salinity and salicylic acid on essential oil content and yield in peppermint

درصد حجمی اسانس Oil percent V/W	عملکرد اسانس (میلی لیتر در گیاه) Oil yield (ml/plant)	تیمار Treatment
2.22 ^a	3.23 ^a	0
1.76 ^b	1.68 ^b	75
1.48 ^c	1.47 ^b	125
		شوری (میلی مولار) Salinity (mM)
2.04 ^a	2.48 ^{ab}	0
1.76 ^{ab}	1.72 ^b	5
2.05 ^a	2.72 ^a	10
1.56 ^b	1.90 ^{ab}	50
1.70 ^{ab}	1.84 ^{ab}	100
		اسید سالیسیلیک (پی پی ام) Salicylic acid (ppm)

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند ($p < 0.05$)
Mean that in each column for each of the common letters are not statistically different according to LSD test



شکل ۳: اثر متقابل سطوح مختلف شوری و غلظت‌های متفاوت اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس در نعنا فلفلی

Fig. 3: Interaction of different concentrations of salicylic acid and salt on essential oil content in peppermint

با کاربرد اسید سالیسیلیک ب‌صورت محلول‌پاشی برگ‌ها با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام مقاومت نعنا را به تنش شوری بهبود بخشیده و خسارات حاصل از تنش شوری را تا حدی کاهش داد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان اظهار نمود که واکنش گیاه دارویی نعنا فلفلی به تنش شوری با بسیاری از گیاهان دیگر مشابه است و از آنجایی که این گیاه یک گیاه با نیاز آبی بالا می‌باشد و در برخی مناطق آب شور در دسترس‌تر می‌باشد می‌توان

منابع

- امیدبگی، ر. ۱۳۸۶. رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۳۸ صفحه.
- حسینی، ع. ۱۳۸۲. بررسی اثرهای تنش خشکی و شوری ناشی از کلرید سدیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان رقم کشکنی لولو. پایان‌نامه دکتری، رشته علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- دهستانی اردکانی، م.، قاطعی، پ.، مومن‌پور، ع.، غلام‌نژاد، ج. و فخاری‌پورخرابی، ز. ۱۴۰۰. تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر گل‌دهی و خصوصیات رشدی شاه‌پسند درختچه‌ای (*Lantana camara* Linn.) تحت تنش شوری. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۶ (۶۴): ۱-۲۳.
- عندلیبی، ب.، محمدی آذر، م.، اسماعیل‌پور، ب. و شکاری، ف. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch and C.A. Mey تحت تنش شوری. نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۷ (۲): ۳۶۴-۳۸۰.

- فاضلی، آ.، زارعی، ب. و طهماسبی، ز. ۱۳۹۶. تاثیر تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). زیست‌شناسی گیاهی ایران، ۹ (۴): ۳۱-۹۰.
- کمالی، م.، خرازی، س.م.، سلاح ورزی، ی. و تهرانی فر، ع. ۱۳۹۱. اثر سالیسیلیک اسید بر رشد و صفات مورفوفیزیولوژیک گل تکمه‌ای (*Gomphrena globosa* L.) در شرایط تنش شوری. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶ (۱): ۱۰۴-۱۱۲.
- مردانی، ح.، بیات، ح. و عزیزی، م. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دانه‌های خیار تحت شرایط تنش خشکی. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۳): ۳۲۰-۳۲۶.
- مهدویان، ک. ۱۴۰۰. بررسی اثر غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک در بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های پسته (*Pistacia vera* L.) رقم اکبری تحت تنش شوری. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۶ (۶۲): ۱۳۹-۱۵۰.
- Ahmad, P., Alyemeni, M. N., Ahanger, M. A., Egamberdieva, D., Wijaya, L. and Alam, P. 2018. Salicylic acid (SA) induced alterations in growth, biochemical attributes and antioxidant enzyme activity in faba bean (*Vicia faba* L.) seedling under NaCl toxicity. Russian Journal of Plant Physiology, 65 (1): 104-114.
- Bin-Jumah, M., Abdel-Fattah, A. F. M., Saied, E. M., El-Seedi, H. R. and Abdel-Daim, M. M. 2021. Acrlamide-induced peripheral neuropathy: manifestation, mechanisms and potential treatment modalities. Environmental Science and Pollution Research, 28 (11): 13031-13046.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. L. W. T. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food science and Technology, 28 (1): 25-30.
- El-Taher, A. M., Abd El-Raouf, H. S., Osman, N. A., Azoz, S. N., Omar, M. A., Elkesh, A. and Abd El-Hady, M. A. M. 2022. Effect of salt stress and foliar application of salicylic acid on morphological, biochemical, anatomical and productivity characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plants. Plants, 11: 115.
- Es-sbihi, F. Z., Hazzoumi, Z., Aasfar, A. and Amrani Joutei, K. 2021. Improving salinity tolerance in *Salvia officinalis* L. by foliar application of salicylic acid. Chemical and Biological technologies in Agriculture, 8 (1): 1-12.
- Ghasemi, M., Ghasemi, S., Hosseini Nasab, F. and Rezaei, N. 2020. Effect of salicylic acid application on some growth traits of Lemon verbena (*Lippa citriodora*) under salinity stress. Journal of Plant Production Research. 26(4): 163-176.
- Gholamzadeh Alam, A., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A. 2022. Morphological and physiological characteristics for evaluation of salicylic acid effects on *Celosia argentea* L. under salinity stress. Iranian Journal of Plant Physiology, 12 (1): 4027-4037.
- Gohari, G., Hassanpouraghdam, M. B., Dadpour, M.R. and Shirdel, M. 2013. Influence of Zn foliar application on growth characteristics and essential oil yield of basil (*Osimum basilicum* L.) under salinity stress. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 4 (3): 15-24.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fujita, M. and Fotopoulos, V. 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants, 9: 681.
- Jini, D. and Joseph, B. 2017. Physiological mechanism of salicylic acid for alleviation of salt stress in rice. Rice Science, 24 (2): 97-108.
- Juan, M., Rivero, R. M., Romero, L. and Rviz, J. M. 2005. Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. Environmental and Experimental Botany. 54: 193-201.
- Karray-Baouraoui, N., Rahbi, M., Naffati, M., Baldan, B., Ranieri, A., Marzouk, B., Lachaal, M. and Smaoui, A., 2009. Salt effect on yield and composition of shoot essential oil and trichome morphology and density on leaves of *Mentha pulegium*. International Journal of Industrial Crops and Product, 30 (3): 338-343.
- Khalaji, N. 2012. The effect of ascorbic acid, sodium chloride in salt tolerance in geranium (*Pelargonium graveolens* L.). Master thesis, Department of agriculture, Islamic azad University-Miyaneh branch, Miyaneh, Iran.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., Khan, N. A. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in plant science, 6: 462.
- Kumar, S., Ahanger, M. A., Alshaya, H., Jan, B. L. and Yerramilli, V. 2022. Salicylic acid mitigates salt induces toxicity through the modifications of biochemical attributes and some key antioxidants in *capsicum annum*. Saudi Journal of Biological Sciences, 29: 1337-1347.
- Ma, X., Zheng, J., Zhang, X., Hu, Q. and Qian, R. 2017. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbis* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure and enhancing the antioxidant system. Frontiers in plant science, 8: 600.
- Mohamadzadeh, M., Arouee, H., Neamati, S. H. and Shoor, M. 2013. Effect of different levels of salt stress and salicylic acid on morphological characteristics of four Mass Native Basils (*Ocimum basilicum*). International Journal of Agronomy and Plant Production, 4 (s): 3590-3595.
- Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S. and Khan, N. A. 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. Journal of Plant Physiology, 168 (8): 807-815.
- Neocleous, D. and Vasilakakis, M. 2007. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. autumn Bliss). Scientia Horticulture, 112: 282-289.

- Olfa Baatour, R., Kaddour, W., Aidi Wannas, M. and Lachaal Marzouk, B. 2009. Salt stress on the growth, mineral nutrition, essential oil yield and composition of marjoram (*Origanum marjorana*). Journal of Acta Physiologia Plantarum, 10: 37-46.
- Rahimi-tashi, T. and Niknam, V. 2016. The effect of salicylic acid pretreatment on some physiological and salicylic acid in seedling of pistachio. Journal of Plant Growth Regulation, 69: 265-284.
- Rao, Y. R., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., Wattal, R. K., Tuteja, N. and Kumar, V. R. 2021. Salicylic acid modulates ACS, NHX1, sos1 and HKT1;2 expression to regulate ethylene overproduction and Na⁺ ions toxicity that leads to improved physiological status and enhanced salinity stress tolerance in tomato plants cv Pusa Ruby. Plant Signaling and Behavior, 16 (11): e1950888-1-9.
- Roshdi, A.E.-D., Alebidi, A., Almutairi, K., Al-Obeed, R. and Elsabagh, A. 2021. The effect of salicylic acid on the performances of salt stressed strawberry plants, enzymes activity and salt tolerance index. Agronomy, 11 (4): 775.
- Roussos, P. A., Gasparatos, D., Kyriakou, C., Tsihli, K., Tsantili, E. and Haidouti, C. 2013. Growth, nutrient status and biochemical changes in sour orange (*Citrus aurantium* L.) plants subjects to sodium chloride stress. Communications in soil science and plant analysis, 44 (1-4): 804-816.
- Tahjib-Ul-Arif, M., Siddiqui, M. N., Sohag, A. A. M., Sakil, M. A., Rahman, M. M., Polash, M. A. S., Mostofa, M. G. and Tran, L. S. P. 2018. Salicylic acid-mediated enhancement of photosynthesis attributes and antioxidant capacity contributes to yield improvement of maize plants under salt stress. Journal of plant growth regulation, 37(4): 1318-1330.
- Torun, H., Novak, O., Mikulik, J., Strnad, M. and Ayaz, F. A. 2022. The effects of exogenous salicylic acid on endogenous phytohormone status in *Hordeum vulgare* L. under salt stress. Plants, 11: 618.
- Wagner, G. J. 1979. Content and vacuole/ extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplast. Plant physiology, 64: 88-93.
- Zheljzakov, V. R. and Warman. P. R. 2003. Application of high Cu compost to Swiss chard and basil. Journal of Science of the Total Environment, 302: 13-26.

Effect of Salinity and Salicylic Acid on Some Morphological, Biochemical Responses and Essential Oil Content of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Saedi¹, A., Hassanpourfard², G., Azizi^{3*}, M. and Arouee⁴, H.

Abstract

Due to the role of salicylic acid in resistance to environmental stresses, this study was conducted at Ferdowsi University of Mashhad to evaluate the effect of this compound under saline condition on peppermint. In a pot experiment, the effect of salicylic acid at five concentrations (0, 5, 10, 50, 100 ppm) and salinity (sodium chloride) at three concentrations (0, 75, 125 mM), in a factorial experiment based on Completely Randomized Design with 15 treatments and three replications was evaluated. The simple effect of salinity showed that with increasing salinity, anthocyanin content and antioxidant capacity increased. This was while the number of days to flowering, plant height, number of lateral branches, leaf area, aerial part dry weight, and leaf to stem ratio decreased significantly. The simple effect of salinity also reduced the percentage and yield of essential oil. Significant interaction was observed between different concentrations of salicylic acid and salinity in terms of the effect on the number of lateral branches, dry weight of underground and aerial part, root to shoot ratio and percentage of essential oil. Also, the simple effect of salicylic acid treatment on delay flowering and reduction of plant height was significant. Salicylic acid treatment reduced the percentage of essential oil. However, this treatment was able to prevent a reduction in essential oil yield significantly. Therefore, salicylic acid treatment was able to reduce the possible negative effects of salinity stress.

Keywords: Anthocyanins, Salinity, Antioxidant activity, *Mentha piperita*

1, 2, 3 and 4. MSc Graduate, MSc Student, Professor and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*: Corresponding author Email: azizi@um.ac.ir