مقاله پژوهشی

بهبود رشد و صفات فیزیولوژیکی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک در شرایط تنش شوری

مجید رجایی[1*] و ابوالحسن کشاورز[2]

[1] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

[2] گروه علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد داراب، داراب، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲)

چکیده

یکی از چالش‌های مهم تولید کشاورزی روند رو به رشد تنش شوری است. در سال‌های اخیر از بعضی هورمون‌های گیاهی برای کاهش اثرات تنش شوری استفاده شده است. این پژوهش در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در شهرستان داراب انجام گرفت. فاکتور اول چهار سطح شوری شامل صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آب آبیاری و فاکتور دوم شامل محلول‌پاشی در پنج سطح شامل شاهد، سالیسیلیک اسید ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و جاسمونیک اسید ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار بودند. نتایج نشان داد که افزایش شوری سبب افزایش محتوای سدیم، کلر و نشت یونی و کاهش محتوای نسبی آب و محتوای کلروفیل برگ شد. در شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار سبب کاهش ۱۹ درصدی نشت یونی و افزایش ۱۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ شد. در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک به ترتیب سبب افزایش ۶ و ۱۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند. همچنین جاسمونیک اسید ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش ۱۰ و ۱۴ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شد. در حقیقت تأثیر اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک در رفع اثرات منفی شوری تا حدی مرتبط با بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی در شرایط شور بود. همچنین به نظر می‌رسد که در شرایط تنش شوری، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد بهتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، کاتالاز، کلروفیل، مالون دی‌آلدهید، نشت یونی

مقدمه

بادرشبو با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. گیاهی دارویی از خانواده نعناعیان است. خاستگاه رویش این گیاه در سراسر آسیا معرفی شده است، اما تعداد کمی نیز در اروپای مرکزی و شمالی یافت می‌شوند (Zhan *et al.*, 2023). در سال‌های اخیر به دلیل ارزش دارویی بسیار زیاد، محققان بیش از پیش به اجزای دارویی بادرشبو توجه داشته‌اند و ترکیبات شیمیایی بادرشبو به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته و حدود ۱۵۴ ترکیب شناسایی و جداسازی شده است. از جمله این ترکیبات فلاونوئیدها، فنل‌ها، فنیل پروپانوئید، لیگنان‌ها،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: rajaie.majid@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

ترپنوئیدها، گلیکوزیدها، پلی‌ساکاریدها و سایر اجزای شیمیایی است (Kashchenko *et al*., 2022). از مهم‌ترین ترکیبات شناسایی‌شده در اسانس این گیاه ژرانیال، ژرانیل استات، نرال، نریل استات و ژرانیول است که بیشترین مقدار این ترکیبات در مرحله گلدهی گزارش شده است (Maham *et al*., 2013). اسانس بادرشبو بر کارکرد قلب اثرات مثبتی دارد و دارای خواص درمانی زیادی از جمله تقویت‌کننده معده و دستگاه گوارش است. همچنین به دلیل وجود ترکیب سیترال این گیاه قابلیت رفع بیماری‌های عفونی دستگاه تنفسی را دارد (Abd El-Baky and El-Baroty, 2008). مواد مؤثره موجود در پیکر رویشی بادرشبو اصولاً دارای خواص آرام‌بخشی و اشتهاآوری است و به عنوان التیام‌دهنده زخم و ضدنفخ کاربرد دارد. همچنین اسانس این گیاه دارای خاصیت ضدباکتریایی است (Bijani and Madandoust, 2023).

یکی از چالش‌های مهم بخش کشاورزی در سال‌های اخیر گسترش تنش شوری است که اثرات منفی بر تولید گیاهان دارد. بنابراین ارزیابی روش‌های مناسب برای بهبود تولید گیاهان در شرایط تنش شوری اهمیت به‌سزایی دارد (Zorb *et al*., 2019). گزارش شده است که فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان تحت تأثیر مستقیم تنش شوری قرار می‌گیرد (Yadav *et al*., 2019). روش‌های مختلفی برای بهبود رشد گیاهان در خاک‌های شور و نیمه‌شور معرفی شده‌اند (Mishra *et al*., 2021). کاربرد شبه‌هورمون‌های رشد از جمله روش‌های نوین برای کاهش اثرات تنش شوری بر گیاهان است. فیتوهورمون‌ها نقش مهمی در رشد و نمو و پاسخ به تنش‌های محیطی دارند. استفاده از فیتوهورمون‌هایی هم‌چون اسید آبسیزیک، اسید سالیسیلیک، براسینوستروئیدها و جاسمونات‌ها از جمله استراتژی‌های جدید برای مقابله با تنش شوری در گیاهان است (Taheri *et al*., 2020).

اسید سالیسیلیک یکی از مشتقات فنلی است که با ایجاد واکنش‌های القایی در گیاهان سبب افزایش تحمل به تنش شوری می‌گردد (Rasheed *et al*., 2020). استفاده از غلظت‌های بهینه این شبه‌هورمون با تغییر در سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسمولیت‌ها، تولیدات ثانویه و زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی سبب افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش شوری می‌شود (Lotfi *et al*., 2020; Kaur *et al*., 2022). اسید جاسمونیک نیز از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است که در فرآیندهای مختلف گیاهی نقش بسزایی دارد. سازوکارهای دفاعی گیاهان در واکنش به تنش‌های زنده و غیرزنده به وسیله این شبه‌هورمون تنظیم می‌شود (Dar *et al*., 2015). اسید جاسمونیک قادر به تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق در شرایط تنش شوری است (Salimi *et al*., 2014). گزارش شده است که اسید جاسمونیک قادر به بهبود جذب آب با افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه از طریق کلسیم و اسید آبسیزیک است (Sanchez-Romera *et al*., 2014).

گرچه کاربرد خارجی شبه هورمون‌هایی مثل اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب فعال‌کردن سیستم القایی تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود، اما پژوهش‌های کمی در رابطه با اثر این شبه‌هورمون‌ها روی گیاهان دارویی صورت گرفته است. از سوی دیگر مطالعات علمی زیادی در رابطه با کاربرد غلظت‌های مناسب شبه‌هورمون‌های رشد وجود ندارد. بنابراین در این تحقیق ارزیابی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی بادرشبو با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کاشت گلدانی بادرشبو در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و در فضای باز در شهرستان داراب انجام گرفت. محل کاشت دارای عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۷۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۱۷ متر از سطح دریا بود. براساس طبقه‌بندی آمبرژه، شهرستان داراب جز مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌گردد که در فصل زمستان دارای آب و هوای نسبتاً سرد توأم با بارندگی و فصل تابستان هوایی گرم و خشک دارد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

کربن آلی	N	P	K	Mn	Zn	Fe	Cu	pH	هدایت الکتریکی	بافت
(درصد)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)							(دسی‌زیمنس بر متر)	
۰/۴۵	۰/۱	۶/۴	۱۱۵	۲/۱	۰/۶۵	۵/۵	۰/۴۸	۷/۲	۱/۰۱	لوم سیلتی

فاکتور اول چهار سطح شوری شامل شاهد (صفر) و شوری ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آب آبیاری و فاکتور دوم محلول‌پاشی در پنج سطح شامل شاهد، اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و اسید جاسمونیک ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار بود. خاک مورد استفاده در آزمایش از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ۶ کیلوگرم خاک درون هر گلدان ریخته شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده به شرح جدول ۱ بود.

کود دامی با ۳ درصد وزنی با خاک گلدان مخلوط شد. گلدان‌های پلاستیکی دارای ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۵ سانتی‌متر بودند. در تاریخ یک اسفندماه تعداد ۱۵ بذر بادرشبو در عمق یک سانتی‌متری خاک گلدان کشت شدند. دو هفته پس از کاشت (مرحله سه برگی)، عمل تنک‌کردن گیاهچه‌ها صورت گرفت و تعداد شش بوته در هر گلدان حفظ شد. بعد از کاشت تمام گلدان‌های با آب‌مقطر آبیاری شدند. پس از سبزشدن بوته‌ها آبیاری براساس ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. از مرحله سه برگی گلدان‌ها با آب شور دارای غلظت مشخص هر تیمار آبیاری شدند. برای آبیاری تیمار شاهد از آب‌مقطر استفاده شد. اعمال تیمارهای شوری تا مرحله گلدهی و زمان نمونه‌برداری ادامه یافت. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و جاسمونیک اسید با غلظت ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار از مرحله چهار تا پنج برگی شروع و تا پایان مرحله گلدهی هر دو هفته یکبار انجام شد (رضایی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۷).

قبل از گلدهی از هر بوته پنج برگ جوان و بالغ انتخاب و نمونه‌گیری شد. برگ‌ها با آب‌مقطر شسته شدند و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شدند. یک گرم از نمونه آسیاب‌شده در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا تبدیل به خاکستر شود. خاکستر بدست آمده با اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری و غلظت عنصر سدیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل Jenway 7, German) خوانده شد. در نهایت اعداد خوانده‌شده با استفاده از نمودار حاصل از نمونه‌های استاندارد تعدیل شدند (Patterson *et al*., 1984). برای اندازه‌گیری کلر برگ، نیم گرم نمونه خشک‌شده برگ با اکسید کلسیم و آب‌مقطر به صورت خمیر درآورده شد و پس از خاکسترکردن و عصاره‌گیری، غلظت کلر به روش تیتراسیون با نیترات نقره اندازه‌گیری شد (Banuls and Primo-Millo, 1995).

ابتدای گلدهی در اوایل صبح و قبل از طلوع آفتاب در هر تیمار (گلدان) از هر بوته یک برگ کامل، جوان و شاداب انتخاب شدند. نشت یونی با استفاده از روش Sairam و همکاران (۲۰۰۹) و مالون دی‌آلدهید به عنوان فرآورده نهایی پراکسیداسیون غشا با روش Heath و Packer (۱۹۶۸) اندازه‌گیری شد. همچنین محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از روش Weatherely (۱۹۵۰) محاسبه شد.

با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Vis 2100 در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده و میزان کلروفیل با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شد.

(رابطه۱)

$$\text{Chl a } (mgg^{-1}) = (12.7\times OD.663) - (2.69\times OD.645) \times V/000\times W$$

(رابطه۲)

$$\text{Chl b } (mgg^{-1}) = (22.9\times OD.645) - (4.68OD.663) \times V/1000 \times W$$

(رابطه۳)

$$\text{Chl a+b } (mgg^{-1}) = (8.02\times OD.663) + (20.2\times OD645) \times V/1000\times W$$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

در این معادلات V حجم نمونه، OD میزان جذب و W وزن تر نمونه است.

سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب با روش Cakmak و Horst (۱۹۹۱) و Ghanati و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد.

در پایان دوره رشد ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. شش بوته در هر گلدان در مرحله گلدهی، از سطح زمین تا انتهای ساقه اصلی اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آنها به عنوان ارتفاع بوته برای هر گلدان در نظر گرفته شد.

جهت اندازه‌گیری وزن خشک بوته، ابتدا اندام‌های هوایی را از ریشه جدا کرده و پس از شستشو با آب‌مقطر، توسط ترازوی دیجیتالی، وزن شدند. در مرحله بعد برای هر تیمار به طور جداگانه، این اندام‌های هوایی در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای ۴۸ ساعت قرار داده شدند. لازم به ذکر است که برای خشک‌کردن، ابتدا اندام هوایی و ریشه در داخل پاکت کاغذی قرار داده و سپس درون آون با دمای مشخص قرار داده شدند و بعد از خشک‌شدن، به وسیله ترازوی دیجیتالی وزن خشک آنها تعیین شد. همچنین پس از برداشت، خاک گلدان‌ها خارج و پس از هوا خشک‌کردن، خردکردن کلوخه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که به ترتیب برای سطوح شوری صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آب آبیاری ۰/۶۸، ۱/۹۷، ۳/۱۳ و ۴/۹۷ دسی‌زیمنس بر متر بود.

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و ارتفاع بوته: اثر سطوح شوری، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و برهمکنش آنها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و افزایش سطوح شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۳). در تیمار شاهد شوری، غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (جدول ۳). در شوری ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم محلول‌پاشی تمامی تنظیم‌کننده‌های رشد به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی به غیر از اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار سایر تیمارهای محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (جدول ۳).

در سطح شاهد و شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر وزن خشک ریشه معنی‌داری نبود (جدول ۳). در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک سبب افزایش وزن خشک ریشه شد. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید جاسمونیک ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۱۰ و ۱۴ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شدند (جدول ۳).

اثر سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود، اما ارتفاع بوته تحت تأثیر برهم‌کنش آنها قرار نگرفت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شدند (جدول ۴). از سوی دیگر بیشترین ارتفاع بوته در محلول‌پاشی اسید جاسمونیک ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار و اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵).

تنش شوری از طریق کوتاه‌کردن دوره زایشی و کاهش فتوسنتز سبب کاهش دوره رشد گیاه می‌شود (Farooq *et al.*, 2009). وقوع تنش به‌خصوص در مراحل مختلف رویشی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برای صفات ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، سدیم برگ، کلر برگ، نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، b و a+b، فعالیت کاتالاز، فعالیت پراکسیداز و مالون دی‌آلدهید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	ارتفاع بوته	سدیم برگ	کلر برگ	نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ
سطوح شوری (A)	۳	۲۲۷/۷**	۱۶/۳**	۱۹۶/۶**	۰/۰۷۴**	۸/۱۵**	۳۵۰۹/۲**	۱۹۹۰/۳**
محلول‌پاشی (B)	۴	۹/۴**	۰/۵۰۹**	۲۱/۰**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۸۱/۸*	۶۶/۱**
(B) ×(A)	۱۲	۲/۹۸*	۰/۶۸۵**	۲/۰^{ns}	۰/۰۰۲۹*	۰/۰۳۳*	۴۴/۱*	۱۳/۶*
خطا	۴۰	۱/۵۳	۰/۰۸۷	۳/۸۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۴	۲۴/۵	۹/۱۱
ضریب تغییرات (٪)	_	۱۵/۵	۱۴/۵	۸/۱	۸/۸	۸/۶	۱۲/۰	۴/۸

***، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری**

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	فعالیت کاتالاز	فعالیت پراکسیداز	مالون دی‌آلدهید
سطوح شوری (A)	۳	۱/۲**	۰/۱۳۹**	۲/۲۶**	۰/۲۸۰**	۰/۷۵۸**	۴۱/۵**
محلول‌پاشی (B)	۴	۰/۰۹۲**	۰/۰۱۷**	۰/۱۷۸**	۰/۰۰۷**	۰/۰۲۸**	۱/۲^{ns}
(B) ×(A)	۱۲	۰/۰۳۵*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۳۸*	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۲*	۰/۳۰^{ns}
خطا	۴۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۳۰
ضریب تغییرات (٪)	_	۱۰/۵	۶/۳	۱۴/۴	۱۰/۳	۴/۹	۸/۹

***، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری**

باعث کاهش رشد و ارتفاع بوته می‌شود (Ali *et al*., 2022). از سوی دیگر تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید جاسمونیک سبب بهبود شاخص‌های فتوسنتزی شده که در نتیجه باعث تأثیر بر صفات رویشی می‌گردد (برقی و قلی‌پوری، ۱۳۹۹). در مطالعه حاضر احتمالاً محلول‌پاشی اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک با القای بروز ژن‌های مقاومت، تا حدودی توانسته است در بهبود رشد نقش ایفا نماید. گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید جاسمونیک سبب افزایش انتقال مواد پرورده از برگ‌ها به اندام‌های در حال رشد و منجر به افزایش ارتفاع بوته و وزن اندام هوایی و ریشه می‌شود (Sheteiwy *et al*., 2021). تأثیر محافظتی تنظیم‌کننده‌های رشد بر شاخص‌های فتوسنتزی و بیان ژن‌های القایی از طریق سیگنال‌دهی سلولی از عوامل دیگری هستند که ممکن است در بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شوری نقش داشته باشند (Ali *et al*., 2022).

سدیم و کلر برگ: اثر سطوح شوری و برهم‌کنش سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد روی صفات سدیم و کلر برگ به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش سطوح شوری سبب افزایش محتوای سدیم برگ شد، بطوری‌که بیشترین سدیم برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۳). از سوی دیگر در سطح شاهد تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی مشاهده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه و سدیم و کلر برگ در بادرشبو

سطوح شوری	محلول‌پاشی	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	سدیم برگ (درصد)	کلر برگ (درصد)
	صفر	۲۶/۴ a	۷/۵۴ a	۰/۰۳۱ f	۰/۴۵ d
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۲۸/۱ a	۷/۸۶ a	۰/۰۲۷ f	۰/۴۴ d
شاهد	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۲۸/۳ a	۷/۸۹ a	۰/۰۲۷ f	۰/۴۳ d
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۲۶/۹ a	۷/۶۶ a	۰/۰۳۰ f	۰/۴۴ d
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۲۷/۳ a	۷/۷۷ a	۰/۰۲۹ f	۰/۴۴ d
	صفر	۲۱/۲ cde	۶/۴۰ b	۰/۱۳۲ bcd	۱/۳۰ c
۲۵	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۲۳/۱ bcd	۶/۶۴ b	۰/۱۱۶ de	۱/۲۱ c
میلی‌مولار	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۲۳/۵ bc	۶/۸۱ b	۰/۱۱ e	۱/۱۸ c
کلرید سدیم	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۲۳/۳ bc	۶/۵۹ b	۰/۱۱۸ cde	۱/۲۷ c
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۲۴/۱ b	۶/۷۹ b	۰/۱۲۳ bcde	۱/۲۵ c
	صفر	۲۰/۱ efg	۵/۸۱ cd	۰/۱۴۱ b	۱/۶۸ b
۵۰	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۲۰/۸ def	۶/۲۹ bc	۰/۱۳۵ bcd	۱/۶۰ b
میلی‌مولار	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۲۱/۴ cde	۶/۴۶ b	۰/۱۳۲ bcd	۱/۵۷ b
کلرید سدیم	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۲۱/۳ cde	۶/۵۸ b	۰/۱۳۸ b	۱/۶۴ b
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۲۲/۱ bcde	۶/۷۰ b	۰/۱۳۷ bc	۱/۶۳ b
	صفر	۱۶/۱ h	۴/۸۶ f	۰/۲۰۵ a	۲/۲۷ a
۱۰۰	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۱۷/۹ gh	۵/۱۱ ef	۰/۱۹۹ a	۲/۱۶ a
میلی‌مولار	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۱۸/۳ g	۵/۱۴ ef	۰/۱۹۲ a	۲/۰۶ a
کلرید سدیم	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۱۸/۷ fg	۵/۳۶ def	۰/۲۰۱ a	۲/۲۵ a
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۱۹/۷ efg	۵/۵۵ de	۰/۱۹۹ a	۲/۲۲ a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

نشد. در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار محتوای سدیم برگ شد. هم‌چنین در غلظت ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، کمترین غلظت سدیم برگ بادرشبو در اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار مشاهده شد. در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، کاهش محتوای سدیم برگ بادرشبو با اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳).

افزایش در محتوای کلر برگ با افزایش سطوح شوری مشاهده شد. بطوری‌که بیشترین کلر برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۳). در سطح شاهد و تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف اسید جاسمونیک با شاهد مشاهده نشد، اما اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار سبب کاهش غلظت سدیم شد. در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، بیش‌ترین کلر برگ در تیمار شاهد بدست آمد و افزایش غلظت اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌دار محتوای کلر برگ شد (جدول ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر ارتفاع بوته، محتوای کلروفیل b، فعالیت کاتالاز و مالون دی‌آلدهید در بادرشبو

تنش شوری	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	فعالیت کاتالاز (میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)	مالون دی‌آلدهید (میکرومول بر گرم وزن تازه)
شاهد	۲۸/۱ a	۰/۹۶۱ a	۰/۲۲۲ d	۷/۶۹ c
۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم	۲۵/۷ ab	۰/۹۲۴ a	۰/۳۳۱ c	۹/۱۱ bc
۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم	۲۳/۲ bc	۰/۸۵۴ b	۰/۴۴۸ b	۹/۷۸ b
۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم	۱۹/۶ c	۰/۷۴۱ c	۰/۵۳۵ a	۱۱/۷ a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول‌پاشی روی ارتفاع بوته، محتوای کلروفیل b و فعالیت کاتالاز در بادرشبو

محلول‌پاشی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	فعالیت کاتالاز (میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)
صفر	۲۲/۱ c	۰/۸۱۳ c	۰/۴۲۳ a
اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۲۳/۶ bc	۰/۸۷۶ b	۰/۳۹۴ ab
اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۲۴/۵ ab	۰/۹۲۵ a	۰/۳۷۸ b
اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۲۴/۷ ab	۰/۸۶۵ bc	۰/۳۶۵ b
اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۲۵/۶ a	۰/۸۶۴ bc	۰/۳۶۱ b

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

کاهش جذب و تجمع سدیم به‌عنوان یکی از سازوکارهای تحمل به شوری در سطوح گیاهی، سلولی و مولکولی بررسی شده است (Kordrostami and Rabiei, 2019). در خاک‌های مناطق شور، دسترسی و جذب عناصر غذایی تحت تأثیر یون سدیم موجود در خاک قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که یون سدیم موجود در خاک سبب افزایش فشار اسمزی محلول خاک و کاهش جذب عناصر غذایی توسط ریشه می‌شود (Ndiate *et al*., 2021). تحمل گیاهان مختلف به شوری از جذب کمتر سدیم و کلر توسط ریشه و انتقال کم آن به اندام‌های هوایی ناشی می‌شود (Teakle and Tyerman, 2010). از سوی دیگر محققان گزارش کردند که تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید سالیسیلیک از طریق کاهش انتقال سدیم از ریشه به اندام‌های هوایی تجمع سدیم را محدود می‌کنند (Ghassemi-Golezani and Farhadi, 2022). همچنین کاربرد اسید جاسمونیک ممکن است سبب تغییر در جذب سدیم و تنظیم اسمزی تحت تنش شوری شود (Lotfi *et al*., 2024). نتایج این پژوهش مطابق با مطالعات قبلی است که ادعا می‌کنند مصرف شبه‌هورمون‌های رشد به‌صورت خارجی نقش کلیدی در حفظ هموستاز یونی دارد (Noor *et al*., 2022). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک می‌تواند به عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده برای انتقال سیگنال عمل کنند و سطوح بیان ژن برای کاهش جذب برخی عناصر معدنی مثل سدیم را القا کنند (Takeuchi *et al*., 2011; Wang *et al*., 2022).

محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ: اثر سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر محتوای کلروفیل a، b و a+b برگ بادرشبو معنی‌دار بود، همچنین محتوای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل a+b و فعالیت پراکسیداز در بادرشبو

سطوح شوری	محلول‌پاشی	نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل a+b	فعالیت پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)
		(درصد)		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)		
شاهد	صفر	۲۸/۷ h	۷۴/۷ a	۲/۷۲ abcd	۳/۶۲ bcde	۰/۸۶۱ f
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۲۶/۱ h	۷۷/۷ a	۲/۸۴ abc	۳/۷۹ abc	۰/۸۵۶ f
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۲۵/۲ h	۷۸/۸ a	۲/۸۷ ab	۳/۹۲ a	۰/۸۶۰ f
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۲۶/۹ h	۷۵/۳ a	۲/۸۹ ab	۳/۸۴ ab	۰/۸۵۶ f
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۲۶/۰ h	۷۶/۳ a	۲/۹۳ a	۳/۸۸ a	۰/۸۵۳ f
۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم	صفر	۴۰/۶ efg	۶۰/۹ cdef	۲/۵۱ def	۳/۳۹ efg	۰/۹۶۶ e
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۳۷/۸ fg	۶۵/۸ bc	۲/۵۹ de	۳/۵۲ def	۰/۸۸۰ ef
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۳۲/۶ gh	۶۸/۷ b	۲/۶۲ cde	۳/۵۶ cdef	۰/۸۶۰ f
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۳۷/۷ fg	۶۳/۱ cde	۲/۶۶ bcde	۳/۶۰ cde	۰/۸۵۳ f
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۳۷/۰ fg	۶۴/۳ bcd	۲/۷ abcd	۳/۶۴ bcd	۰/۸۳۶ f
۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم	صفر	۵۱/۸ cd	۵۶/۴ fgh	۲/۴۶ ef	۳/۲۷ gh	۱/۲۷ bc
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۴۷/۰ de	۵۸/۳ efg	۲/۵۵ de	۳/۴۳ defg	۱/۱۶ d
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۴۴/۳ def	۵۹/۹ def	۲/۶۲ cde	۳/۵۶ cdef	۱/۱۲ d
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۴۹/۷ cd	۵۷/۳ fg	۲/۵۱ def	۳/۳۴ fg	۱/۱۳ d
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۴۶/۶ de	۵۸/۲ efg	۲/۵۳ de	۳/۵۰ fg	۱/۰۸ d
۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم	صفر	۶۶/۳ a	۴۴/۹ j	۱/۸۷ i	۲/۵۷ k	۱/۴۰ a
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۶۲/۱ ab	۵۱/۷ hi	۲/۲۹ ef	۳/۰۷ gh	۱/۳۵ ab
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۵۶/۶ bc	۵۳/۹ gh	۲/۴۴ fg	۳/۱۹ hi	۱/۳۲ abc
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی‌مولار	۶۴/۰ ab	۴۷/۴ ij	۱/۹۹ hi	۲/۷۳ jk	۱/۲۸ bc
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار	۶۲/۷ ab	۴۸/۳ ij	۲/۱۲ gh	۲/۸۶ ij	۱/۲۵ c

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف متفاوت هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

کلروفیل a و کلروفیل کل برگ تحت تأثیر برهم‌کنش تنش شوری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). صرف‌نظر از تیمارهای محلول‌پاشی، محتوای کلروفیل a با بالارفتن سطح شوری کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین محتوای کلروفیل a در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۶). از طرفی در تیمار شاهد و سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، افزایش غلظت اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای کلروفیل a شد. در سطح تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک سبب افزایش ۳۰ درصدی محتوای کلروفیل a نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و افزایش تنش شوری در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش ۵۲ درصدی محتوای کلروفیل b شد (جدول ۴). تغییرات محتوای کلروفیل b با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، روند افزایشی نشان داد، به‌طوری‌که محتوای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

کلروفیل b در غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۷ و ۱۳ درصدی داشتند (جدول ۵).

در تیمار شاهد و شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب افزایش محتوای کلروفیل a+b برگ شدند (جدول ۶). در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به ترتیب افزایش ۵ و ۹ درصدی و اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار افزایش ۷ درصدی محتوای کلروفیل a+b برگ نسبت به شاهد را سبب شدند. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به ترتیب سبب افزایش ۱۹ و ۲۴ محتوای کلروفیل a+b برگ نسبت به شاهد شدند اما تأثیر محلول‌پاشی اسید جاسمونیک بر این پاسخ گیاهی معنی‌دار نبود (جدول ۶).

صدمه به صفات رویشی و فیزیولوژیکی در شرایط شوری امری طبیعی است. در واقع تحت تنش شوری میزان یون‌های سمی کلر و سدیم در گیاه افزایش می‌یابد و می‌توان بخشی از اختلال در صفات فیزیولوژیکی و کاهش عملکرد را به تجمع این یون‌ها نسبت داد (Tabatabaei, 2006). بررسی منابع نشان می‌دهد که یک رابطه منفی بین میزان سدیم بافت گیاه و صفات رویشی وجود دارد (Zayed *et al*., 2011). از سوی دیگر محققان گزارش کردند که کاربرد اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک با بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی و افزایش فتوسنتز سبب بهبود محتوای کلروفیل و صفات رویشی گیاه می‌گردند (Hosseini Farahi *et al*., 2017). احتمالاً، افزایش محتوای رنگدانه‌های کلروفیل ناشی از بهبود فعالیت آنزیم‌هایی مانند پروتوکلروفیلید ردوکتاز و α-آمینو لوولینیک اسید دهیدراتاز است که در بیوسنتز کلروفیل نقش دارند (Noor *et al*., 2022). طبق تحقیقات گزارش شده است که گیاهان کلروفیل را از طریق دو آنزیم اصلی به نام‌های α-آمینو لوولینیک اسید دهیدراتاز و پروتوکلروفیلید ردوکتاز تولید می‌کنند (Khan *et al*., 2019).

نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ و مالون دی‌آلدهید:

اثر سطوح شوری، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و برهمکنش آنها بر صفات نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود، اما صفت مالون دی‌آلدهید فقط تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۲). کمترین نشت یونی در سطح شاهد شوری مشاهده شد، اما افزایش تنش شوری سبب افزایش نشت یونی در بادرشبو گردید (جدول ۶). در سطح شاهد تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی مشاهده نشد، اما در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار سبب کاهش ۱۹ درصدی نشت یونی شد. در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، افزایش غلظت اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌دار نشت یونی برگ شد. هم‌چنین در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، کمترین نشت یونی برگ در تیمار اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۶).

محتوای نسبی آب برگ با افزایش تنش شوری کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که کمترین محتوای نسبی آب برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بدست آمد (جدول ۶). در سطح شاهد اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد. همچنین در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش ۸ و ۱۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ شد. در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

افزایش سطوح شوری سبب افزایش مالون دی‌آلدهید در بادرشبو گردید (جدول ۴). بیشترین مالون دی‌آلدهید در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نسبت به سطح شاهد، افزایش ۵۲ درصدی نشان داد. در غلظت ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نیز مالون دی‌آلدهید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

تنش شوری از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو سبب افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

تولید و تجمع رادیکال‌های آزاد فعال می‌شود که به نوبه خود اکسیدشدن پروتئین‌ها و لیپیدها را به دنبال دارد (Garcia-Caparros *et al.*, 2019). کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم باعث پایداری غشای سلولی شده و اکسیداسیون لیپیدی کمتری اتفاق می‌افتد. مالون دی‌آلدئید محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشا سلولی و یکی از مهم‌ترین علامت‌های بروز خسارت در غشا است (Davey *et al.*, 2005). کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مثل اسید سالیسیلیک با کاهش تخریب غشا سلولی سبب کاهش نشت یونی و تولید مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شوری می‌شود (Pai and Sharma, 2024). همچنین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک با القای بیان ژن‌های خاص و تأثیر مثبت آن بر یکپارچگی غشای سلولی سبب کاهش خسارت تنش شوری می‌گردند (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2018; Saleem *et al.*, 2021). کاربرد اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک ممکن است کاهش آب ناشی از تنش شوری را در ساختار سلول بهبود بخشند و با افزایش پتانسیل آب در سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه را افزایش دهند. این مکانیسمی است که تا حدی اثرات مضر ناشی از نمک را بر فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای کاهش می‌دهد (Nimir *et al.*, 2016).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز: اثر سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر فعالیت کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار بود، اما تأثیر برهم‌کنش این تیمارها فقط بر فعالیت پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۲). کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و افزایش سطوح شوری سبب افزایش معنی‌دار آن شد (جدول ۴). در رابطه با اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در شاهد مشاهده شد و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و اسید جاسمونیک ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار سبب کاهش فعالیت کاتالاز گردید (جدول ۵).

فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش شوری روند افزایشی نشان داد (جدول ۶). در سطح شاهد شوری، اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی مشاهده نشد. در شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، فعالیت آنزیم پراکسیداز با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک کاهش معنی‌داری نشان داد. در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، فعالیت آنزیم پراکسیداز با محلول‌پاشی اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار کاهش ۱۷ درصدی نشان داد (جدول ۶). همچنین در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

گیاهان با تنظیم واکنش‌های اکسیداتیو و القا دفاع آنتی‌اکسیدانی به تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند (Garcia-Caparros *et al.*, 2021). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به گونه‌های فعال اکسیژن حاصل از تنش شوری تولید می‌شوند (Ahmad *et al.*, 2022). از سوی دیگر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی سبب تغییر در املاح سازگار و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌گردند (Ahmad Lone *et al.*, 2022). در گیاهان تحت تنش، اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک از طریق سیگنال‌دهی سلولی نقش مهمی در مکانیسم دفاعی دارند (Hoque *et al.*, 2020; Raza *et al.*, 2021) و باعث کاهش فعالیت این آنزیم‌ها می‌شوند. به‌طورکلی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی به بقای گیاه در شرایط نامطلوب کمک می‌کند، اما زمانی که فشار ناشی از تنش گیاهی کاهش پیدا کند، فعالیت این آنزیم‌ها نیز کاهش پیدا خواهد کرد. اهمیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همبستگی مثبت بین بیان این آنزیم‌ها و سطح تحمل به تنش توسط محققان گزارش شده است (Mallik *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری غلظت یون‌های سدیم و کلر در اندام هوایی گیاه تا حد سمیت افزایش می‌یابد که به نوبه خود کاهش معنی‌دار صفات رویشی و فیزیولوژیکی را به‌دنبال خواهد داشت. از آنجا که تیمار ۰/۱ میلی‌مولار اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تأثیر محسوسی بر کاهش غلظت سدیم و کلر در اندام هوایی داشت، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از اثر این دو تنظیم‌کننده‌های رشد در بهبود عملکرد گیاه به علت تأثیر آن بر کاهش جذب سدیم و کلر است. هم‌چنین شوری محتوای نسبی آب برگ را در گیاه بادرشبو کاهش داد. پس اثر سوء شوری بر رشد گیاه علاوه بر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و کلر تا حدی نیز مربوط به کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت یونی است. از سوی دیگر تیمار ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به احتمال زیاد از طریق افزایش بیان ژن‌های مقاومت و با افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش خسارت‌های ناشی از شوری گردیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک در بهبود اثرات سوء شوری تا حدی مرتبط با بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی در شرایط شور است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط حاکم بر این آزمایش، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد مناسب‌تری در بهبود رشد گیاه بادرشبو داشته‌اند.

منابع

برقی، علی، و قلی‌پوری، عبدالقیوم (۱۳۹۹) تأثیر محلولپاشی جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید بر عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش شوری. *نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۶*(۵)، ۸۳۷-۸۵۰. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342501.2761

رضایی‌نسب، فرشته، پازکی، علی‌رضا، و منعم، رضا (۱۳۹۷). اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر قندهای محلول، پرولین و آنزیم‌های اسطوخودوس (*Lavendula officinalis* L.) تحت تنش شوری. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱*(۱)، ۱۵۹-۱۶۹. https://doi.org/10.22077/escs.2017.357.1070

Abd El-Baky, H, & El-Baroty, G. (2008). Chemical and biological evaluation of the essential oil of Egyptian moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *International Journal of Integrative Biology*, *3*, 202-208.

Ahmad Lone, W., Majeed, N., Yaqoob, U., & John, R. (2022). Exogenous brassinosteroid and jasmonic acid improve drought tolerance in *Brassica rapa* L. genotypes by modulating osmolytes, antioxidants, and photosynthetic system. *Plant Cell Reports*, *41*(3), 603-617. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02763-9

Ali, A. Y. A., Ibrahim, M. E. H., Zhou, G., Zhu, G., Elsiddig, A. M. I., Suliman, M. S. E., Elradi, S. B. M., & Salah, E.G. I. (2022). Interactive impacts of soil salinity and jasmonic acid and humic acid on growth parameters, forage yield, and photosynthesis parameters of sorghum plants. *South African Journal of Botany*, *146*, 293-303. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.027

Arnon, D. E. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology*, *24*(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Banuls, J, & Primo-Millo, E. (1995). Effects of salinity on some citrus scion-rootstock combinations. *Annals of Botany*, *76*(1), 97-102. https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1083

Bijani, F, & Madandoust, M. (2023). Comparison of chemical composition and biological activities of *Dracocephalum moldavica* L. shoots in different regions of Fars (Southern Iran). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *26*(2), 378-385. https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2187263

Cakmak, I, & Horst, J. H. (1991). Effects of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, *83*, 463-468. http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x

Dar, T. A., Uddin, M., Khan, M. M. A., Hakeem, K. R., & Jaleel, H. (2015). Jasmonates counter plant stress: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *115*, 49-57. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.02.010

Davey, M., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., & Swennen, R. (2005). High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*, *347*, 201-207. https://doi.org/10.1016/j.ab.2005.09.041

Farhangi-Abriz, S, & Ghassemi-Golezani, K. (2018). How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *147*, 1010-1016. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.070

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum, 31,* 937-945. https://doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2

Garcia-Caparros, P., De Filippis, L., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., Altay, V., & Lao, M. T. (2021). Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: A review. *The Botanical Review, 87*, 421-466. https://doi.org/10.1007/s12229-020-09231-1

Garcia-Caparros, P., Hasanuzzaman, M., & Lao, M. T. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense in plants under salinity. In: Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms. (eds. Hasanuzzaman, P., Fotopoulos, V., Nahar, K., and Fujita, M.) Pp. 291-309. Wiley Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch12

Ghanati, F., Morita, A., & Yokota, H. (2002). Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cell. *Soil Science and Plant Nutrition, 48*, 357-364. https://doi.org/10.1080/00380768.2002.10409212

Ghassemi-Golezani, K, & Farhadi, N. (2022). The efficacy of salicylic acid levels on photosynthetic activity, growth, and essential oil content and composition of pennyroyal plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation, 41*, 1953-1965. https://doi.org/ 10.1007/s00344-021-10515-y

Heath, R. L, & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplast kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Biochemistry and Biophysics, 125*, 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hoque, T. S., Sohag, A. A. M., Burritt, D. J., & Hossain, M. A. (2020). Salicylic acid-mediated salt stress tolerance in plants. *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture*, *1*, 1-38. https://doi.org/ 10.1007/978-981-15-4890-1_1

Hosseini Farahi, M., Dastyaran, M., & Yosefi, F. (2017). Effect of polyamines (PAs) and humic acid (HA) on growth, yield and concentration of mineral elements in shoot and root of strawberry. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 18*(2), 209-220. DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.8.3

Kashchenko, N. I., Jafarova, G. S., Isaev, J. I., Olennikov, D. N., & Chirikova, N. K. (2022). Caucasian dragonheads: Phenolic compounds, polysaccharides, and bioactivity of *Dracocephalum austriacum* and *Dracocephalum botryoides. Plants, 11*(16), 2126. https://doi.org/10.3390/plants11162126

Kaur, H., Hussain, S. J., Kaur, G., Poor, P., Alamri, S., Siddiqui, M. H., & Khan, M. I. R. (2022). Salicylic acid improves nitrogen fixation, growth, yield and antioxidant defence mechanisms in chickpea genotypes under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation, 41*, 2034-2047. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10592-7

Khan, A., Kamran, M., Imran, M., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., Al-Amri, I., Lee, I. J., & Khan, A. L. (2019). Silicon and salicylic acid confer high-pH stress tolerance in tomato seedlings. *Scientific Reports, 9*, 19788. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55651-4

Kordrostami, M, & Rabiei, B. (2019). Salinity stress tolerance in plants. In: Plant Abiotic Stress Tolerance: Physiological, Molecular, and Biotechnological Approaches. (eds. Hasanuzzaman, P., Hakeem, K. R., Nahar, K., & Alharby, H.) Pp. 101-127. Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0

Lotfi, R., Abbasi, A., Pessarakli, M., Rastogi, A., Kalaji, H. M., & Alizadeh, K. (2024). A comparison of jasmonic acid and salicylic acid-induced salinity stress tolerance in safflower plants, particularly on sodium (Na) and potassium (K) nutrient contents. *Journal of Plant Nutrition, 47*(4), 515-528. https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2280125

Lotfi, R., Ghassemi-Golezani, K., & Pessarakli, M. (2020). Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 26*, 101632. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101635

Maham, M., Akbari, H., & Delazar, A. (2013). Chemical composition and antinociceptive effect of the essential oil of *Dracocephalum moldavica* L. *Pharmaceutical Sciences, 18*(4), 187-192.

Mallik, S., Nayak, M., Sahu, B., Panigrahi, A., & Shaw, B. (2011). Response of antioxidant enzymes to high NaCl concentration in different salt-tolerant plants. *Biologia Plantarum, 55*, 191-195. https://doi.org/10.1007/s10535-011-0029-3

Mishra, P., Mishra, J., & Arora, N. K. (2021). Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants–recent developments and prospects: A review. *Microbiological Research, 252*, 126861. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861

Ndiate, N. I., Saeed, Q., Haider, F. U., Liqun, C., Nkoh, J. N., & Mustafa, A. (2021). Co-application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance, growth and lipid metabolism of maize (*Zea mays* L.) in an alkaline soil. *Plants, 10*(11), 2490. https://doi.org/10.3390/plants10112490

Nimir, N. E. A., Zhou, G., Guo, W., Ma, B., Lu, S., & Wang, Y. (2016). Effect of foliar application of GA3, kinetin, and salicylic acid on ions content, membrane permeability, and photosynthesis under salt stress of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Canadian Journal of Plant Science, 97*(3), 525-535. https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0110

Noor, J., Ullah, A., Saleem, M. H., Tariq, A., Ullah, S., Waheed, A., Okla, M. K., Al-Hashimi, A., Chen, Y., & Ahmed, Z. (2022). Effect of jasmonic acid foliar spray on the morpho-physiological mechanism of salt stress tolerance in two soybean varieties (*Glycine max* L.). *Plants, 11*(5), 651. https://doi.org/10.3390/plants11050651

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

Pai, R, & Sharma, P. K. (2024). Exogenous supplementation of salicylic acid ameliorates salt-induced membrane leakage, ion homeostasis and oxidative damage in sorghum seedlings. *Biologia, 79*, 23-43. https://doi.org/10.1007/s11756-023-01554-9

Patterson, B., Macrae, E., & Ferguson, I. (1984). Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Analytical Biochemistry, 139*(2), 487-492. https://doi.org/10.1016/0003-2697(84)90039-3

Rasheed, F., Anjum, N. A., Masood, A., Sofo, A., & Khan, N. A. (2020). The key roles of salicylic acid and sulfur in plant salinity stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation, 39*(5), 1891-1904. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10257-3

Raza, A., Charagh, S., Zahid, Z., Mubarik, M. S., Javed, R., Siddiqui, M. H., & Hasanuzzaman, M. (2021). Jasmonic acid: A key frontier in conferring abiotic stress tolerance in plants. *Plant Cell Reports, 40*(5), 1513-1541. https://doi.org/10.1007/s00299-020-02614-z

Sairam, R. K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., & Meena, R. C. (2009). Water logging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Plant Physiology, 166*(6), 602-616. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.09.005

Saleem, M., Fariduddin, Q., & Castroverde, C. D. M. (2021). Salicylic acid: A key regulator of redox signalling and plant immunity. *Plant Physiology and Biochemistry, 168*, 381-397. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.011

Salimi, F., Shekari, F., & Hamzei, J. (2014). The effects of salinity and foliar application of methyl jasmonate on the rate of photosynthesis, stomatal conductance, water use efficiency and yield of German chamomile. *Iranian Journal of Field Crops Research, 12*(2), 328-334. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i2.22635

Sanchez-Romera, B., Ruiz-Lozano, J. M., Li, G., Luu, D. T., Martinez-Ballesta, M. C., Carvajal, M., Zamarreno, A. M., Garcia-Mina, J. M., Maurel, C., & Aroca, R. (2014). Enhancement of root hydraulic conductivity by methyl jasmonate and the role of calcium and abscisic acid in this process. *Plant, Cell and Environment, 37*(5), 995-1008. https://doi.org/10.1111/pce.12214

Sheteiwy, M. S., Shao, H., Qi, W., Daly, P., Sharma, A., Shaghaleh, H., Hamoud, Y. A., El-Esawi, M. A., Pan, R., & Wan, Q. (2021). Seed priming and foliar application with jasmonic acid enhance salinity stress tolerance of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 101*(5), 2027-2041. https://doi.org/10.1002/jsfa.10822

Tabatabaei, S. J. (2006). Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae, 108*, 432-438. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.016

Taheri, Z., Vatankhah, E., & Jafarian, V. (2020). Methyl jasmonate improves physiological and biochemical responses of *Anchusa italica* under salinity stress. *South African Journal of Botany, 130*, 375-382. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.026

Takeuchi, K., Gyohda, A., Tominaga, M., Kawakatsu, M., Hatakeyama, A., Ishii, N., Shimaya, K., Nishimura, T., Riemann, M., & Nick, P. (2011). RSOsPR10 expression in response to environmental stresses is regulated antagonistically by jasmonate/ethylene and salicylic acid signaling pathways in rice roots. *Plant Cell Physiology, 52*(9), 1686-1696. https://doi.org/10.1093/pcp/pcr105

Teakle, N. L, & Tyerman, S. D. (2010). Mechanisms of Cl^- transport contributing to salt tolerance. *Plant, Cell and Environment, 33*(4), 566-589. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02060.x

Wang, Z., Dong, S., Teng, K., Chang, Z., & Zhang, X. (2022). Exogenous salicylic acid optimizes photosynthesis, antioxidant metabolism, and gene expression in perennial ryegrass subjected to salt stress. *Agronomy, 12*(8), 1920. https://doi.org/10.3390/agronomy12081920

Weatherley, P. E. (1950). Studies in water relations of cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist, 49*(1), 81-87. http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x

Yadav, S. P., Bharadwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K., & Prasad, S. K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A review. *International Journal of Chemical Studies, 7*(3), 1793-1798.

Zayed, B. A., Salem, A. K. M., & El-Sharkawy, H. M. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences, 7*(2), 179-184.

Zhan, M., Ma, M., Mo, X., Zhang, Y., Li, T., Yang, Y., & Dong, L. (2023). *Dracocephalum moldavica* L.: An updated comprehensive review of its botany, traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and application aspects. *Fitoterapia, 105732*. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105732

Zorb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology, 21*(1), 31-38. https://doi.org/10.1111/plb.12884

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]

Improvement of growth and physiological traits of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) by foliar spraying of salicylic acid and jasmonic acid under salinity stress conditions

Majid Rajaie [1*], Abolhasan Keshvarz [2]

[1] Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
[2] Soil Science Department, Islamic Azad University, Darab Branch, Darab, Iran
(Received: 2024/09/14, Accepted: 2024/11/12)

Abstract

One of the important challenges of agricultural production is the growing trend of salinity stress. In recent years, the pseudo-growth plant hormones have been used to reduce the adverse effects of salinity stress. This research was conducted in the form of a factorial completely randomized block design in 1401-1402 at Darab city. The first factor was four levels of salinity, including 0, 25, 50 and 100 mM of sodium chloride in irrigation water and the second factor was foliar spraying at five levels, consisting of control, salicylic acid 0.5 and 1 mM and jasmonic acid 0.05 and 0.1 mM. Results showed that an increase in salinity level caused an increase in the content of sodium, chlorine and ionic leakage and a decrease in the relative water content and chlorophyll of the leaves. At 25 mM of sodium chloride, foliar application of 1 mM salicylic acid caused a 19% decrease in ion leakage and a 13% increase in relative water content of leaves. In salinity of 50 mM sodium chloride, foliar application of 1 mM salicylic acid and 0.1 mM jasmonic acid caused a 6 and 10% increase in shoot dry weight, respectively, compared to the control. Also, 0.05 and 0.1 mM of jasmonic acid increased the root dry weight by 10 and 14%, respectively, compared to the control. In fact, the effect of jasmonic acid and salicylic acid in improving the adverse effects of salinity was partly related to the improvement of physiological traits in saline conditions. Also, it seems that the concentration of 0.1 mM of jasmonic acid and 1 mM of salicylic acid performed better under salt stress conditions.

Keywords: Catalase, Peroxidase, Ion leakage, Chlorophyll, Malondialdehyde

Corresponding author, Email: rajaie.majid@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-06-23]