فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۸، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۲۲۷-۲۴۹
https://doi.org/10.22034/14.68.227

مقاله پژوهشی

پاسخ فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و تغییرات عناصر برگ علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) به برخی الیسیتورها در شرایط تنش شوری

فاطمه سلیمی، فرزین عبدالهی* و علیرضا یاوری

گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰)

چکیده

محلول‌پاشی الیسیتورهای زیستی و هورمونی از جمله کیتوزان و آبسیزیک اسید (ABA) جهت تعدیل اثرات منفی تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری در گیاهان مختلف توصیه شده است. به همین منظور این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل با دو عامل شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار با استفاده از NaCl) و محلول‌پاشی سطوح مختلف الیستور (صفر، کیتوزان ۵۰، کیتوزان ۱۰۰، اسید آبسیزیک ۱۰، اسید آبسیزیک ۵ میلی‌گرم در لیتر) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه هرمزگان بر علف لیمو تحت تنش شوری انجام گرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که شوری اثر منفی بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و ساختار یونی علف لیمو گذاشت و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، سطح برگ به ترتیب به میزان ۲۰/۷۱، ۱۲/۴۰ و ۲۷/۷۶ درصد و افزایش معنی‌دار Na^+ برگ به میزان ۳۷/۶۰ درصد در مقایسه با شاهد بدون محلول‌پاشی شد. در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، محلول‌پاشی کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش وزن تر اندام هوایی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید به ترتیب به میزان ۲۰/۸۶، ۲۲۹/۵، ۱۰۵/۳، ۲۰۶/۸ و ۱۹۶/۲ درصد و محلول‌پاشی ABA ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش وزن تر کل بوته و تعداد پنجه به ترتیب به میزان ۲۲/۹ و ۸۵/۰ درصد در مقایسه با شاهد شد. تنش شوری از طریق تحریک تولید پراکسید هیدروژن باعث افزایش پراکسیداسیون چربی غشا و درنتیجه افزایش تولید مالون دی‌آلدهید شد در حالی‌که الیسیتورها با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پراکسیداسیون چربی و درنتیجه تولید مالون دی‌آلدهید را محدود کردند در این بین کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ABA ۱۰ میلی‌گرم در لیتر کاراتر بودند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی الیسیتورها باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی، افزایش نسبت K^+ به Na^+ و کاهش نشت یونی در شرایط تنش شوری می‌شود. بنابراین کاربرد الیسیتورهای زیستی به ویژه کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش سازگاری گیاه علف لیمو به شرایط تنش شوری شده که این موضوع می‌تواند راهکاری برای توسعه کشت این گیاه در مناطق شور ایران در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: اسید آبسیزیک، کیتوزان، گیاه دارویی، لمون‌گراس

مقدمه

لمون‌گراس یا علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) گیاهی دارویی و معطر از خانواده گندمیان است که بومی هند و عمدتاً در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد می‌کند (Du *et al.*,

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: fabdollahi@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

2024). این گیاه به‌دلیل طعم دلپذیر و خواص درمانی‌اش مانند اثرات ضدالتهابی و آرام‌بخش، در طب سنتی به‌کار می‌رود (Borges *et al*., 2021; Solomon *et al*., 2019). اجزای شیمیایی آن شامل ترپنوئیدها، فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک هستند (Salimi *et al*., 2024) که فعالیت‌های دارویی متعددی دارند (Li *et al*., 2021; Umukoro *et al*., 2020). اسانس علف لیمو حاوی ترکیباتی مانند سیترال و جرانیول است و در صنایع مختلف از جمله داروسازی و آرایشی کاربرد دارد (Avoseh *et al*., 2015). همچنین، به‌دلیل ویتامین A موجود در آن، برای درمان مشکلات پوستی نیز استفاده می‌شود (Massoud *et al*., 2022).

تنش به هر گونه محدودیت خارجی زنده (جانداران) یا غیرزنده (دما، شوری، خشکی و...) گفته می‌شود که سرعت فتوسنتز و درنتیجه توانایی عمومی گیاه را کاهش می‌دهد (Parihar *et al*., 2015). تنش‌هایی که بیش‌ترین تأثیر را بر بهره‌وری محصولات کشاورزی می‌گذارند عبارت از دمای بالا و پایین، تنش شوری و تنش خشکی هستند که همگی می‌توانند منجر به محدودیت آب در گیاهان شوند.

شوری خاک یک مشکل جهانی است که حدود ۲۰ درصد اراضی قابل کشت و ۹۵۴ میلیون هکتار از کل زمین‌ها را تحت تأثیر قرار داده و به‌دلیل تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی در حال افزایش است (Hafeez *et al*., 2020; Arora, 2019). در ایران، ۱۶ تا ۲۳ میلیون هکتار از اراضی شامل اراضی قابل کشت، بیابان‌ها و دشت‌ها در معرض تنش شوری قرار دارند. از طرف دیگر تخمین زده می‌شود که ۵۰ درصد از اراضی تحت آبیاری در معرض شوری باشند (کافی و همکاران، ۱۳۸۹). غلظت بالای نمک در این اراضی جذب آب را برای ریشه‌ها دشوار می‌کند و در نتیجه به عنوان تهدیدی جدی برای تولید محصولات کشاورزی است که می‌تواند تا ۵۰ درصد عملکرد را کاهش دهد (El Sabagh *et al*., 2021). همچنین این تنش از طریق مختل‌کردن فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله ایجاد تنش اسمزی و کاهش باز بودن روزنه‌ها (Saddiq *et al*., 2021; Woodrow *et al*., 2017) بهره‌وری محصول را به شدت کاهش می‌دهد (Toscano *et al*., 2023).

در مطالعاتی که توسط سلیمانی و همکاران (۱۴۰۲)، تدین و همکاران (۱۴۰۱) و Salama و همکاران (۲۰۲۳) انجام شد با افزایش سطح شوری محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و وزن خشک برگ در علف لیمو به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. همچنین گزارش شده است که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های فتوسنتزی، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، تعداد پنجه و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و میزان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و پرولین برگ علف لیمو (*Cymbopogon flexuosus* STEUD. WATS.) می‌شود (Rehman *et al*., 2022; Mukarram *et al*., 2023a).

راهکارهای مختلف از جمله کاربرد برخی ترکیبات همچون الیسیتورها (Elicitors) توسط محققان در گیاهان مختلف برای بهبود اثرات منفی تنش شوری مورد بررسی قرار گرفته است. گیاهان برای مقابله با تنش‌های محیطی مکانیسم‌های سازگاری پیچیده متابولیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دارند که این مکانیسم‌ها را می‌توان از طریق کاربرد عوامل برون‌زاد الیسیتورها تحریک کرد (Isah, 2019). الیسیتورها عواملی با منشاء عوامل زنده، غیرزنده و محیطی هستند که در شرایط تنش‌های محیطی سنتز متابولیت‌های ثانویه، به عنوان یک مکانیسم دفاعی، را در گیاهان تسریع می‌کنند. متابولیت‌های ثانویه محصول جانبی و محصول نهایی مسیرهای مختلف انتقال سیگنال هستند که پاسخ دفاعی را توسط محرک‌های زنده و غیرزنده القا می‌کنند (Barka *et al*., 2022). بر اساس ماهیت الیسیتورها، می‌توان آن‌ها را به دو دسته زیستی (Biotic) و غیرزیستی (Abiotic) تقسیم کرد. الیسیتورهای زیستی منشأ بیولوژیکی دارند شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، آنزیم‌ها، پلی‌مرهای زیستی (مانند کیتوزان)، هورمون‌های گیاهی (از جمله ABA) و ریزباکتری‌های محرک رشد گیاهی دارند. الیسیتورهای غیرزیستی شامل موادی هستند که منشأ غیر بیولوزیکی دارند و در عوامل فیزیکی، شیمیایی و هورمونی دسته‌بندی می‌شوند (Chamkhi *et al*., 2021).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

اخیراً پلیمرهای زیستی از جمله کیتوزان به عنوان یک الیسیتور زیستی جهت بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی در شرایط تنش‌های محیطی استفاده می‌شوند (Sharif *et al*., 2018). کیتوزان از مشتقات کیتین است و از طریق استیل‌زدایی کیتین سنتز می‌شود و به‌دلیل خواص فیزیکی و بیولوژیکی برتر خود مانند آب‌دوستی، پلی‌کاتیونی بودن، زیست‌سازگاری، تجزیه‌پذیری، غیرسمی بودن، فعالیت ضدمیکروبی و قابلیت ترکیب با سایر پلیمرهای زیستی مورد توجه ویژه محققین قرار گرفته است (Morin-Crini *et al*., 2019). در سال‌های اخیر کاربرد این ترکیب در کشاورزی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. کیتوزان با افزایش سنتز پرولین، جلوگیری از تخریب کلروفیل و بهبود کارایی فتوسنتز گیاه (شامخ و همکاران، ۱۴۰۰) و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و پراکسیداز (شامخ و همکاران، ۱۴۰۱) و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون چربی غشاء (Alenazi *et al*., 2024) و همچنین افزایش محتوای فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی (Ghahari *et al*., 2023)، تحمل گیاه را به تنش‌های مختلف افزایش می‌دهد.

هورمون ABA که معمولاً به‌عنوان هورمون تنش نیز نامیده می‌شود در فرآیندهای متابولیکی و مکانیسم‌های تحمل به تنش‌های غیرزیستی از جمله شوری نقش کلیدی دارد (Ye *et al*., 2023). این هورمون با تنظیم هموستاز یونی، بیوسنتز اسمولیت‌ها، مهار گونه‌های اکسیژن فعال و بیان ژن پاسخگو به نمک، نقش اصلی و غیرقابل جایگزینی را در طی پاسخ به تنش شوری در گیاهان ایفا می‌کند (Edel and Kudlu, 2016). تحت تنش شوری، گیاهان تلاش می‌کنند با تنظیم سطوح ABA اثرات تنش را کاهش دهند. تجمع سریع ABA باعث بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود که باعث کاهش اتلاف آب از طریق تعرق می‌شود. غلظت بالای ABA در بافت‌های برگی به سازگاری گیاه در تنش شوری با تنظیم اسمزی، تغییر فعالیت روزنه‌ای و بهبود تولید پروتئین‌های تنش کمک می‌کند (Wang *et al*., 2025).

در رابطه با نقش الیسیتورهای هورمونی و کیتوزان در تعدیل اثرات منفی تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری بر علف لیمو مطالعات بسیار محدودی انجام شده است. در پژوهشی که توسط Mukarram و همکاران (۲۰۲۳b) انجام شد کاربرد اولیگومر کیتوزان باعث بهبود کارایی فتوسنتز، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و در نتیجه بهبود عملکرد علف لیمو در شرایط تنش شوری شد. همچنین Massoud و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که محلول‌پاشی کیتوزان در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان الیسیتور، باعث افزایش عملکرد علف لیمو، اسانس و بازده اقتصادی آن در شرایط تنش خشکی می‌شود.

در رابطه با نقش الیسیتوری ABA در بهبود رشد گیاه علف لیمو در شرایط تنش‌های محیطی مطالعه‌ای انجام نشده است اما در مطالعه‌ای Chen و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که هورمون ABA با بهبود فتوسنتز، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های غیرآنتی‌اکسیدانی و همچنین کاهش آسیب اکسیداتیو اثر بازدارندگی ناشی از شوری را در گیاه برنج را کاهش می‌دهد. علاوه‌براین، تنش شوری باعث بیان ژن‌های پاسخ‌دهنده به هورمون ABA و تجمع ABA در ریشه اولیه می‌شود. این امر نشان‌دهنده این است که ABA نقش اساسی در رشد ریشه تعدیل‌شده با نمک بازی می‌کند (Huang *et al*., 2021).

با توجه به اینکه گیاه دارویی علف لیمو که پتانسیل دارویی و کاربردهای صنعتی دارد و در استان هرمزگان نیز مورد کشت و کار قرار می‌گیرد و این منطقه با شوری آب و خاک مواجه هست به کارگیری روش‌ها و راهکارهای نوین زیستی که اثرات تنش شوری را بر این گیاه کاهش دهد ضرورت دارد. از آنجا که تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی به‌منظور بررسی اثر کیتوزان و اسید آبسیزیک بر گیاه علف لیمو تحت تنش شوری صورت نگرفته است، لذا این آزمایش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف اسید آبسیزیک و کیتوزان به‌عنوان الیسیتورهای هورمونی و زیستی بر پاسخ فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و تغییرات عناصر برگ علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) در شرایط تنش شوری انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و اعمال تیمارها: جهت بررسی تأثیر الیسیتورهای مختلف بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) تحت تنش شوری این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (شوری و الیسیتور) و سه تکرار (در هر تکرار دو گلدان) انجام شد. شوری در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار غلظت نمک طعام (NaCl) و الیسیتورها شامل شاهد، کیتوزان (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و اسید آبسیزیک (۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) اعمال شد. پس از تهیه نشاهای علف لیمو، نشاها در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر که حاوی ۵ کیلوگرم خاک بودند کشت شد. به‌منظور تعیین مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری گلدان‌ها ابتدا چند گلدان به عنوان نمونه با خاک کاملاً خشک وزن شدند. سپس گلدان‌ها به حالت اشباع آبیاری و روی پایه قرار گرفتند تا زمانی که خروج آب از زیر گلدان‌ها متوقف شد. بعد از آن گلدان‌ها دوباره وزن و از اختلاف وزن آن‌ها ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد (Sepaskhah *et al*., 2006).

جهت تهیه محلول کیتوزان در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از کیتوزان با وزن مولکولی متوسط و درجه دی‌استیله ≤ ۷۵ درصد از شرکت سیگما آلدریچ (انگلیس) استفاده گردید. برای تهیه غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کیتوزان به ترتیب ۰/۲ و ۰/۴ گرم کیتوزان را در ۵۰۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلایسیال ۱ درصد به‌طور کامل حل شد. جهت حل‌شدن کامل کیتوزان بشر را بر روی دستگاه هات پلیت مگنتی دیجیتال آلفا D500 با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و دور ۳۰۰ rpm قرار داده شد. سپس هر کدام از محلول‌ها به حجم نهایی ۴ لیتر رسانده شد. همچنین به‌منظور تهیه محلول اسید آبسیزیک در دو غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۴ گرم از اسید آبسیزیک برند سیگما در اتانول حل و سپس با آب‌مقطر به حجم ۴ لیتر رسانده شد. شوری در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار غلظت نمک طعام (NaCl) اعمال شد. گیاهان به مدت ۹۰ روز آبیاری شدند. آبیاری هر ۴۸ ساعت یکبار انجام شد. به‌منظور جلوگیری از تشکیل بلور نمک در خاک گلدان پس از دو مرحله آبیاری با آب شور، تمامی نمونه‌ها یک مرحله با آب‌مقطر آبیاری شدند. محلول‌پاشی الیسیتورها بعد از آبیاری اول و به فاصله ۱۰ روز یکبار انجام شد.

صفات رویشی: سه ماه پس از کشت، بوته‌ها جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر برداشت شدند. گیاهان با دقت از گلدان‌ها خارج شده و با استفاده از آب به خوبی شسته شد. در روز پایان آزمایش تعداد پنجه‌ها در هر گلدان شمارش شد. سطح برگ نهایی با نرم‌افزار Digimizer، پس از اسکن تمام برگ‌ها سبز و سالم و بر حسب سانتی‌متر مربع به‌دست آمد. برای این منظور بعد از جداسازی تمام برگ‌های هر بوته، توسط اسکنر EPSON L3156 با نرم‌افزار Sigma Scanner Pro با وضوح ۳۰۰ نقطه در هر اینچ از برگ‌ها تصویربرداری شد و سپس سطح برگ با استفاده از تصاویر بدست آمده و توسط نرم‌افزار Digimizer نسخه ۵,۷,۲ محاسبه گردید (Carvalho *et al*., 2017). وزن تر اندام هوایی و ریشه توسط ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم (AND مدل GF-6100) اندازه‌گیری شد. سپس اندام‌های هوایی و ریشه‌ها در دستگاه آون فن‌دار ۵۵ لیتری با محفظه آلومینیوم مارک شیماز با دمای ۷۰ درجه به‌مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند (باغبانی آرانی و ادواری، ۱۴۰۰) و بعد از آن وزن خشک اندام هوایی ثبت شد.

صفات فیزیولوژیک: به‌منظور اندازه‌گیری محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئید کل از روش Arnon (۱۹۶۷) با کمی تغییر استفاده گردید. ۰/۲۵ گرم از برگ تازه گیاه در هاون چینی به خوبی خرد و سائیده شد. سپس به آن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد اضافه گردید. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ سانتریفیوژ (مدل یونیورسال سری premium-20000R) شد. ۳ میلی‌لیتر از عصاره فوقانی حاصل از سانتریفیوژ جدا و به کووت دستگاه اسپکتوفتومتر مدل ۲۵۰۱ و ساخت سسیل- انگلیس اضافه شد و مقدار جذب در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر خوانده گردید (از استون ۸۰ درصد به‌عنوان بلانک استفاده شد). تمامی مراحل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

آزمایش در تاریکی انجام گرفت. غلظت کروفیل‌ها و کاروتنوئید با استفاده از روابط زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ($mg\ g\ FW^{-1}$) محاسبه شد. در روابط ۱ تا ۴، V حجم استون مصرف شده، W وزن تر نمونه بر حسب گرم و A میزان جذب نور در طول‌موج‌های مورد نظر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر است.

(۱)

$$Chl\ a = 12.7\ (A.663) - 2.69(A645) \times V / 1000 \times W$$

(۲)

$$Chl\ b = 22.9\ (A.645) - 4.68(A663) \times V / 1000 \times W$$

(۳)

$$Chl\ t = A652 \times 20.2 + A.663 \times 8.02\ V / 1000 \times W$$

(۴)

$$Car = (1000\ A\ 470 - 1.82\ Chl\ a - 85.02\ Chl\ b) / 198$$

جهت اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ تازه، از هر برگ ۱ دیسک به قطر یک سانتی‌متر تهیه شد و به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم شرکت Sartorius (Entris 124-1S) وزن شد. دیسک‌های برگ به آب‌مقطر درون پتری‌دیش منتقل و وزن آن‌ها پس از گذشت ۲۴ ساعت دوباره مشخص گردید. سپس نمونه‌ها درون فویل نازک به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها کاملاً خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه گیری شد. میزان درصد آب با استفاده ازرابطه ۵ تعیین و به درصد محاسبه شد (Cherki *et al*., 2002). در رابطه زیر، FW وزن تر، TW وزن آماس و DW وزن خشک بر حسب گرم است.

(۵)

$$RWC\ (\%) = \frac{(FW-DW)}{(TW-DW)} \times 100$$

برای ارزیابی میزان نشت یونی (IL)، ۲ گرم از برگ تازه را با آب دوبار تقطیر شستشو داده و به همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر در فالکون ۱۵ میلی‌لیتر قرار داده شدند. فالکون‌های حاوی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت قابلیت هدایت الکتریکی (EC) با دستگاه شوری‌سنج (EC متر رومیزی مدل HI2315) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها را به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از سردشدن نمونه‌ها برای بار دوم قابلیت هدایت الکتریکی سنجیده و از رابطه ۶ نشت یونی به درصد محاسبه گردید (Kamies *et al*., 2014).

(۶)

$$IL = EC_1 / EC_2 \times 100$$

در رابطه بالا، IL نشت یونی، EC_1 هدایت الکتریکی پس از ۲۴ ساعت و EC_2 هدایت الکتریکی پس از بن‌ماری بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر است.

صفات بیوشیمیایی: برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (٪) ۱۰۰ میکرولیتر عصاره متانولی نمونه برگ به ۱۰۰ میکروتیوب حاوی میکرولیتر آب‌مقطر اضافه و به مدت ۵ دقیقه با دور ۱۲۰۰۰ و دمای ۴ درجه سانتریفیوژ شد. ۱۵ میکرولیتر از عصاره رویی به ۸۵۸ میکرولیتر محلول DPPH افزوده (۰/۰۰۴۸ گرم از DPPH توسط ترازو دیجیتال با دقت ده هزارم وزن و به ۲۰۰ میلی‌لیتر متانول خالص اضافه شد) و با دستگاه ورتکس شد. سپس از هر نمونه ۲۵۰ میکرولیتر در چاهک‌های پلیت ریدر الایزا منتقل و جذب توسط دستگاه الایزا در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر انجام گرفت. در این سنجش بلانک دستگاه متانول ۸۵ درصد و از محلول DPPH به عنوان کنترل استفاده و مراحل انجام آزمایش در تاریکی انجام شد (Sheng *et al*., 2018).

برای محاسبه پراکسید هیدروژن، ۰/۱ گرم از برگ با ۰/۹ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۰/۱ درصد که در دمای ۴ درجه نگهداری شده بود در هاون چینی سائیده شد. مخلوط همگن شده به مدت ۱۰ دقیقه استراحت نمود. سپس میکروتیوب‌های هاوی مخلوط در دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. ۰/۶ میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و به کووت دستگاه اسپکتروفتومتر انتقال داده شد بعد از آن ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۱ مولار و ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰ میلی‌مولار اضافه شد. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. بلانک دستگاه شامل تمامی مواد استفاده شده بدون عصاره گیاهی است (Velikova *et al*., 2000).

به منظور اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدهید (میکرومول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

بر گرم) یک گرم نمونه برگ را در یک میلی لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) یک درصد در هاون چینی سائیده شد. و سپس با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. مقدار ۰/۶ میلی‌لیتر از محلول استخراج با ۱ میلی‌لیتر اسید تیوباربیتوریک (TBA) گرم در لیتر مخلوط شد، مخلوط در بن‌ماری آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد و بلافاصله در یخ خنک شد. پس از آن، مخلوط در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. میزان جذب به ترتیب ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر تعیین شد. از رابطه ۷ برای محاسبه محتوای مالون دی‌آلدهید (MDA) بر حسب نانومول بر گرم (µmol/g) استفاده شد (Zheng *et al*., 2019).

(۷)

$$MDA = 6.45 \times (OD\ 532 - OD\ 600) - 0.56 \times OD\ 450$$

در رابطه فوق، OD میزان جذب نور در طول‌موج‌های مورد نظر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر است.

عناصر برگ: به‌منظور اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم برگ علف لیمو با استفاده از روش Hamada و El-Enany (۱۹۹۴) ابتدا برگ‌ها درون دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده با استفاده از آسیاب پودر شدند. ۰/۱ گرم از نمونه آسیاب‌شده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلایسیال ۰/۱ نرمال به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به‌مدت دو ساعت درون حمام آب گرم (بن‌ماری) با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس ازآن نمونه‌ها توسط قیف و کاغذ صافی صاف شدند. از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل JENWAY، ساخت کشور انگلستان) برای اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم) استفاده شد.

در پایان آزمایش تجزیه واریانس داده‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح آماری ۵ درصد انجام شد. نمودارهای حاصل توسط برنامه اکسل رسم شد.

نتایج

صفات رویشی، وزن تر اندام هوایی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر سطوح مختلف شوری و الیسیتورها بر وزن تر اندام هوایی در سطح ۱٪ و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵٪ بر وزن تر اندام هوایی علف لیمو معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش شوری باعث کاهش وزن تر اندام هوایی علف لیمو در مقایسه با شاهد شد که این کاهش برای شوری ۱۰۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود (شکل ۱). در هر سطح شوری، کاربرد الیسیتور باعث افزایش وزن تر اندام هوایی در مقایسه با گیاهان بدون محلول‌پاشی شد که این افزایش در اغلب موارد معنی‌دار بود. بیشترین افزایش با محلول‌پاشی کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد بطوری‌که با محلول‌پاشی آن، وزن تر اندام هوایی در شرایط شوری شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب به میزان ۱۳/۴۶، ۱۶/۷۳ و ۲۰/۸۶ درصد افزایش یافت. در مجموع بیشترین (۴۸۷/۳ گرم در بوته) و کمترین (۳۲۳/۲ گرم در بوته) میزان وزن تر اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای کاربرد کیتوزان با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط بدون تنش شوری و تیمار عدم محلول‌پاشی گیاهان در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۱).

وزن خشک اندام هوایی: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر سطوح مختلف شوری در سطح ۱٪ و الیسیتورها در سطح ۵٪ معنی‌دار بود درحالیکه اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). با توجه به نتایج جدول ۲ مشاهده گردید که شوری ۵۰ میلی‌مولار قادر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی علف لیمو نبود در حالیکه شوری ۱۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار این صفت به میزان ۲۰/۷۱ درصد در مقایسه با شاهد شد. در مجموع بیشترین (۷۴/۰ گرم در بوته) و کمترین (۶۱/۳ گرم در بوته) وزن خشک اندام هوایی به ترتیب به شاهد و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مربوط بود (جدول ۲).

کاربرد الیسیتور (به استثنا کیتوزان ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی علف لیمو شد.

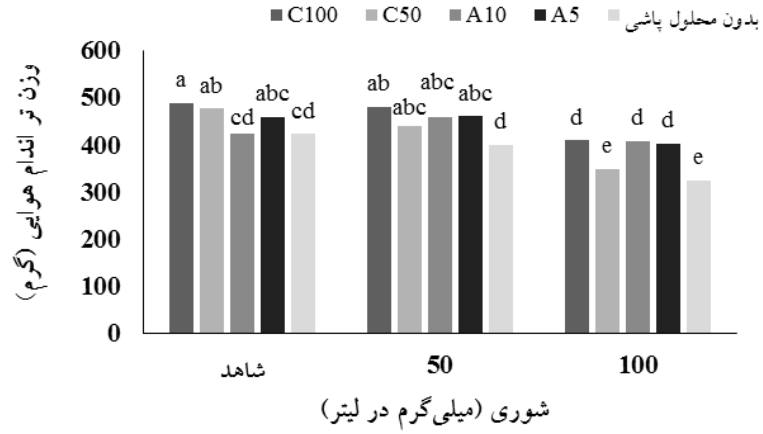
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شوری، الیسیتور و اثر متقابل آن‌ها بر صفات رویشی علف لیمو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر کل بوته	وزن خشک کل بوته	سطح برگ	تعداد پنجه
شوری	۲	۲۶۵۰۸/۴۵**	۷۶۴/۶۲**	۲۰۰۳۵/۴۲**	۴۲۳/۴۶**	۷۴۵/۶**	۳۴۴/۱**
الیسیتور	۴	۷۵۸۵/۲۰**	۱۰۴/۵۹*	۹۳۲۲/۴۰**	۱۵۲/۸۵**	۱۱۱/۱**	۲۱۸/۵**
الیسیتور× شوری	۸	۱۳۹۹/۸۳*	۴۹/۲۰^{ns}	۱۴۶۳/۲۶**	۶۰/۵۳^{ns}	۶۷/۹۰^{ns}	۱۲/۳*
خطای آزمایش	۳۰	۶۰۰/۲۸	۳۷/۴۶	۳۳۰/۲۷	۳۰/۸۰	۱۷/۹	۵/۰
خطای کل	۴۴						
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۷۵	۸/۸۰	۳/۶۵	۶/۸۹	۱۲/۱۲	۶/۳۵

ns، * و ** به ترتیب بی‌معنی و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهمکنش الیسیتورها و تنش شوری بر وزن تر اندام هوایی علف لیمو (در نمودار بالا حرف C و A به ترتیب نشان‌دهنده کیتوزان و اسید آبسیزیک است).

بطوری‌که در بین سطوح مختلف الیسیتورها بیشترین (۷۲/۷ گرم در بوته) وزن خشک اندام هوایی با کاربرد کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد که بیانگر افزایش این صفت در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده به میزان ۲۰/۰۸ درصد بود. کمترین (۶۰/۱ گرم در بوته) میزان وزن خشک اندام هوایی در گیاهان محلول‌پاشی نشده مشاهده شد که با اسید آبسیزیک ۵ میلی‌گرم در لیتر و کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲).

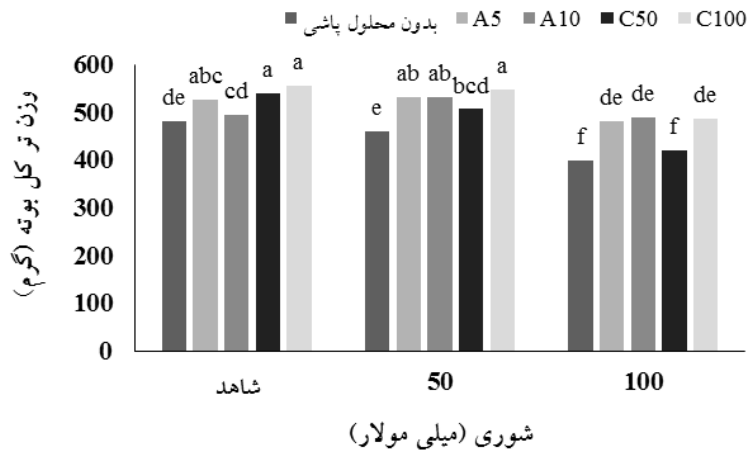
وزن تر کل بوته: اثر سطوح مختلف شوری، الیسیتورها و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر کل بوته در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). شوری باعث کاهش وزن تر کل بوته در هر سطح الیسیتور در مقایسه با شاهد شد هر چند که در اغلب موارد بین سطوح ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار وجود نداشت اما این کاهش برای شوری ۱۰۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود (شکل ۲). از طرف دیگر در هر سطح شوری، محلول‌پاشی الیسیتور باعث افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده گردید بطوری‌که محلول‌پاشی ABA ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش این شاخص به میزان ۲۲/۹ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۲). بیشترین (۵۵۶/۱ گرم) وزن تر کل بوته در تیمار کیتوزان با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی الیسیتور و شوری بر صفات رویشی علف لیمو

شوری (میلی‌مولار)	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک کل بوته	سطح برگ
	گرم در بوته		سانتی‌متر مربع در بوته
شاهد	۷۴/۰^{a}	۸۴/۶^{a}	۴۱/۹^{a}
۵۰	۷۳/۳^{a}	۸۳/۲^{a}	۳۴/۹^{b}
۱۰۰	۶۱/۳^{b}	۷۳/۷^{b}	۲۷/۸^{c}
الیسیتور (میلی‌گرم در لیتر)	گرم	گرم	سانتی‌متر مربع
محلول‌پاشی نشده	۶۰/۱^{b}	۷۰/۷^{b}	۲۹/۹^{c}
کیتوزان ۵۰	۶۹/۴^{ab}	۷۹/۹^{a}	۳۲/۹^{bc}
کیتوزان ۱۰۰	۷۲/۷^{a}	۸۴/۱^{a}	۳۵/۵^{ab}
اسید آبسیزیک ۵	۶۹/۷^{ab}	۸۳/۳^{a}	۳۷/۹^{a}
اسید آبسیزیک ۱۰	۷۱/۹^{a}	۸۱/۷^{a}	۳۸/۲^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند (P≤0.05).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش الیسیتورها و تنش شوری بر وزن تر کل بوته علف لیمو (در نمودار بالا حرف C و A به ترتیب نشان‌دهنده کیتوزان و اسید آبسیزیک است).

بدون تنش شوری و کمترین (۳۹۵/۸ گرم در بوته) در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی بود که با سایر تیمارها به جز تیمار کیتوزان با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲).

وزن خشک کل بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد، اثر سطوح مختلف شوری و الیسیتورها در سطح ۱٪ بر وزن خشک کل بوته معنی‌دار بود درحالیکه برهمکنش این دو معنی‌دار نبود (جدول ۱). با افزایش سطح شوری وزن خشک کل بوته در مقایسه با شاهد کاهش یافت و این کاهش (۱۲/۴ درصد) در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود. بیشترین (۸۴/۱ گرم در بوته) و کمترین (۷۳/۷ گرم بوته) وزن خشک کل بوته به ترتیب در شاهد و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدست آمد (جدول ۲).

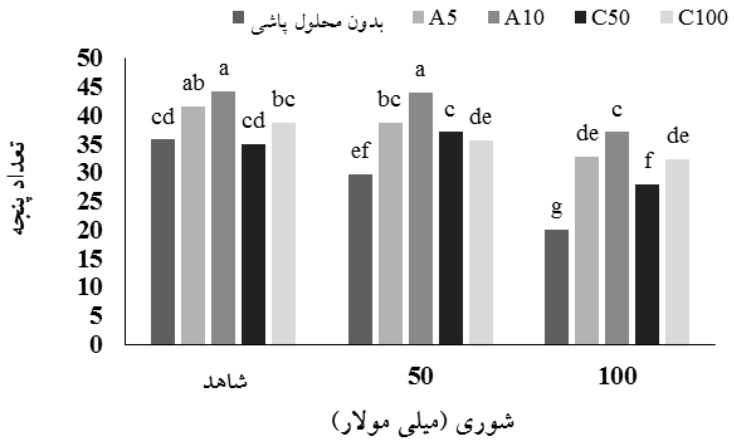
محلول‌پاشی سطوح مختلف الیسیتورها به طور معنی‌دار و مشابه باعث افزایش وزن خشک کل بوته در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده، گردید. بیشترین افزایش این صفت در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر شوری، الیسیتور و اثر متقابل آن‌ها بر صفات فیزیولوژیکی علف لیمو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	RWC	نشت یونی
شوری	۲	۰/۰۱۲*	۰/۱۷۸**	۰/۰۷۷*	۴/۵۸۹*	۴۴/۱**	۶۱/۶**
الیسیتور	۴	۰/۱۰۵**	۰/۲۱۴**	۰/۱۵۴**	۲۹/۱۹**	۰/۳^{ns}	۰/۳^{ns}
الیسیتور× شوری	۸	۰/۱۰۳**	۰/۲۰۵**	۰/۱۵۳**	۴۳/۱۴۵**	۶۳/۲**	۱/۵*
خطای آزمایش	۳۰	۰/۰۰۷۲	۰/۰۹۹	۰/۰۱۳	۰/۳۰۲	۰/۶	۰/۰۱
خطای کل	۴۴						
ضریب تغییرات (٪)	–	۶/۶۸	۸/۵۴	۱۳/۴۶	۶/۶۰	۱۱/۳۹	۱۰/۸۶

ns، * و ** به ترتیب بی‌معنی و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش الیسیتورها و تنش شوری بر تعداد پنجه در بوته علف لیمو (در نمودار بالا حرف C و A به ترتیب نشان‌دهنده کیتوزان و اسید آبسیزیک است).

مقایسه با شاهد، با کاربرد کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و به میزان ۱۸/۹۵ درصد شد (جدول ۲).

سطح برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی سطوح مختلف شوری و الیسیتورهای کیتوزان و اسید آبسیزیک بر سطح برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. درحالیکه اثر متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). شوری اثر کاهشی معنی‌داری بر سطح برگ علف لیمو داشت (جدول ۲) به‌طوریکه کمترین سطح برگ (۲۷/۹ سانتی‌متر مربع) در تیمار شوری با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده گردید که بیانگر کاهش ۳۳/۴ درصد در مقایسه با شاهد (۴۱/۹ سانتی‌متر مربع) بود (جدول ۳). همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر الیسیتورها نشان داد که بیشترین میزان سطح برگ (۳۸/۲ سانتی‌متر مربع) در تیمار اسید آبسیزیک با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که بیانگر افزایش ۲۷/۷۶ درصد سطح برگ نسبت به شاهد بود. از طرف دیگر کمترین میزان سطح برگ (۲۹/۹ سانتی‌متر مربع) مربوط به تیمار شاهد بود که با سایر تیمارها به جز تیمار کیتوزان با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت (جدول ۲).

تعداد پنجه: اثر اصلی سطوح مختلف شوری و الیسیتورها در سطح ۱٪ و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵٪ بر تعداد پنجه معنی‌دار بود (جدول ۱). در هر سطح الیسیتور، تنش شوری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

۱۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش تعداد پنجه در علف لیمو در مقایسه با شاهد شد. محلول‌پاشی الیسیتور به طور معنی‌دار باعث تعدیل اثرات منفی شوری بر تعداد پنجه شد. بطوری‌که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار محلول‌پاشی ABA با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش تعداد پنجه به میزان ۸۵/۰ درصد در مقایسه با شاهد شد. از طرف دیگر بیشترین (۴۴/۲) و کمترین (۲۰/۰) تعداد پنجه به ترتیب در تیمار بدون تنش شوری با محلول‌پاشی اسید آبسیزیک با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (شکل ۳).

صفات فیزیولوژیک، رنگیزه‌های گیاهی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر شوری بر کلروفیل a، کل و کارتنوئید در سطح ۵٪ و بر کلروفیل b در سطح یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در اغلب موارد شوری باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید در هر سطح الیسیتور در مقایسه با شاهد می‌شود. محلول‌پاشی علف لیمو با الیسیتور، منجر به تعدیل اثرات منفی تنش شوری بر رنگیزه‌های گیاهی شد، بطوریکه در هر سطح تنش شوری این اقدام باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل و کارتنوئید در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده گردید. در بین الیسیتورها، اغلب کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کارایی بیشتری داشت (جدول ۴). بطوری‌که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار محلول‌پاشی کیتوزان ۱۰۰، باعث افزایش کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید به ترتیب به میزان ۲۲۹/۵، ۱۰۵/۳، ۲۰۶/۸ و ۱۹۶/۲ درصد در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده گردید. بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۶۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۰/۱۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل کل (۰/۷۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کارتنوئید (۰/۴۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد و کاربرد کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. درحالی‌که کمترین میزان کلروفیل a (۰/۱۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۰/۰۳۸میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل کل (۰/۱۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کارتنوئید (۰/۱۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) متعلق به تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۴).

محتوای نسبی آب: سطوح مختلف شوری، الیسیتورها و اثر متقابل آن‌ها بر میزان محتوای نسبی آب در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). در هر سطح الیسیتور شوری باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب شد. اما در هر سطح شوری، الیسیتورها باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده، گردید. در شرایط بدون شوری و شوری ۵۰ میلی‌مولار، بیشترین مقدار این صفت با کاربرد اسید آبسیزیک ۱۰ و کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با کاربرد کیتوزان ۵۰ میلی‌مولار بدست آمد هر چند که با سایر الیسیتورها تفاوت معنی‌دار نداشت. بیشترین (۹۴/۸ درصد) محتوای نسبی آب برگ در تیمار اسید آبسیزیک با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط بدون تنش شوری مشاهده شد که بیانگر افزایش این شاخص به میزان ۱۰/۰ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد بود. در حالی‌که کمترین(۷۷/۷ درصد) میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۴).

نشت یونی: بر اساس نتایج جدول ۴ اثر سطوح مختلف شوری، الیسیتورها و برهمکنش آن‌ها بر نشت یونی علف لیمو در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. تنش شوری باعث افزایش نشت یونی در مقایسه با شاهد (بدون تنش) شد و این افزایش در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود. محلول‌پاشی الیسیتورها باعث تعدیل اثر منفی تنش شوری در افزایش نشت یونی شدند. گیاهان محلول‌پاشی شده اغلب به طور معنی‌دار نشت یونی کمتری در مقایسه با گیاهان تیمار نشده داشتند. بطوریکه در شرایط شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار اغلب الیسیتورها از طریق حفظ پایداری غشا نشت یونی مشابه با گیاهان تیمار نشده در شرایط بدون تنش شوری داشتند. در مجموع بالاترین (۳۳/۹ درصد) نشت یونی متعلق به تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی الیسیتور بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت و نسبت به کمترین میانگین (۲۱/۱ درصد) که متعلق به تیمار شاهد با محلول‌پاشی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی الیسیتور و شوری بر صفات رشدی گیاه علف لیمو

شوری (میلی‌مولار)	الیسیتور (میلی‌گرم در لیتر)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	RWC	نشت یونی
		میلی‌گرم بر گرم وزن تر				درصد	
شاهد	محلول‌پاشی نشده	۰/۴۸۷^{c}	۰/۰۷۹^{bc}	۰/۶۲۴^{b}	۰/۲۷۵^{de}	۸۶/۱^{c}	۲۴/۴$^{c-f}$
	کیتوزان ۵۰	۰/۵۰۰^{bc}	۰/۰۹۸^{a}	۰/۶۶۰^{b}	۰/۳۸۱^{b}	۹۰/۷^{b}	۲۱/۷^{fg}
	کیتوزان ۱۰۰	۰/۶۳۸^{a}	۰/۱۱۴^{a}	۰/۷۸۴^{a}	۰/۴۲۷^{a}	۹۲/۴^{ab}	۲۱/۱^{g}
	اسید آبسیزیک ۵	۰/۶۱۰^{a}	۰/۰۸۷^{b}	۰/۷۶۰^{a}	۰/۳۸۹^{b}	۹۰/۹^{b}	۲۲/۳^{efg}
	اسید آبسیزیک ۱۰	۰/۴۲۲^{d}	۰/۰۷۹^{bc}	۰/۵۴۶^{c}	۰/۳۷۵^{b}	۹۴/۸^{a}	۲۲/۵$^{d-g}$
۵۰	محلول‌پاشی نشده	۰/۲۶۳^{f}	۰/۰۵۲^{d}	۰/۳۴۶^{e}	۰/۲۰۳^{f}	۸۸/۳^{c}	۲۹/۶^{b}
	کیتوزان ۵۰	۰/۴۸۰^{c}	۰/۰۸۱^{b}	۰/۶۱۵^{b}	۰/۳۱۱^{c}	۸۵/۴^{c}	۲۶/۷^{bc}
	کیتوزان ۱۰۰	۰/۵۴۲^{b}	۰/۰۷۹^{bc}	۰/۷۲۴^{a}	۰/۳۹۹^{ab}	۹۱/۱^{b}	۲۴/۸^{cde}
	اسید آبسیزیک ۵	۰/۵۲۷^{bc}	۰/۰۸۵^{b}	۰/۶۲۰^{b}	۰/۳۷۸^{b}	۸۹/۲^{c}	۲۵/۴^{cd}
	اسید آبسیزیک ۱۰	۰/۳۵۴^{e}	۰/۰۶۱^{c}	۰/۴۷۷^{cd}	۰/۲۶۶^{e}	۹۱/۳^{b}	۲۳/۵$^{d-g}$
۱۰۰	محلول‌پاشی نشده	۰/۱۲۹^{g}	۰/۰۳۸^{e}	۰/۱۶۱^{f}	۰/۱۰۶^{g}	۷۷/۷^{e}	۳۳/۹^{a}
	کیتوزان ۵۰	۰/۳۶۹^{e}	۰/۰۷۱^{c}	۰/۵۵۸^{c}	۰/۲۶۳^{e}	۸۳/۷^{d}	۲۸/۸^{b}
	کیتوزان ۱۰۰	۰/۴۲۵^{d}	۰/۰۷۸^{bc}	۰/۴۹۴^{c}	۰/۳۱۴^{c}	۸۲/۹^{d}	۲۵/۱^{cde}
	اسید آبسیزیک ۵	۰/۲۸۱^{f}	۰/۰۷۰^{c}	۰/۳۲۷^{e}	۰/۳۰۲^{cd}	۸۱/۹^{d}	۲۷/۴^{bc}
	اسید آبسیزیک ۱۰	۰/۲۷۳^{f}	۰/۰۵۳^{d}	۰/۳۱۰^{e}	۰/۲۵۰^{e}	۸۱/۷^{d}	۲۵/۳^{cde}

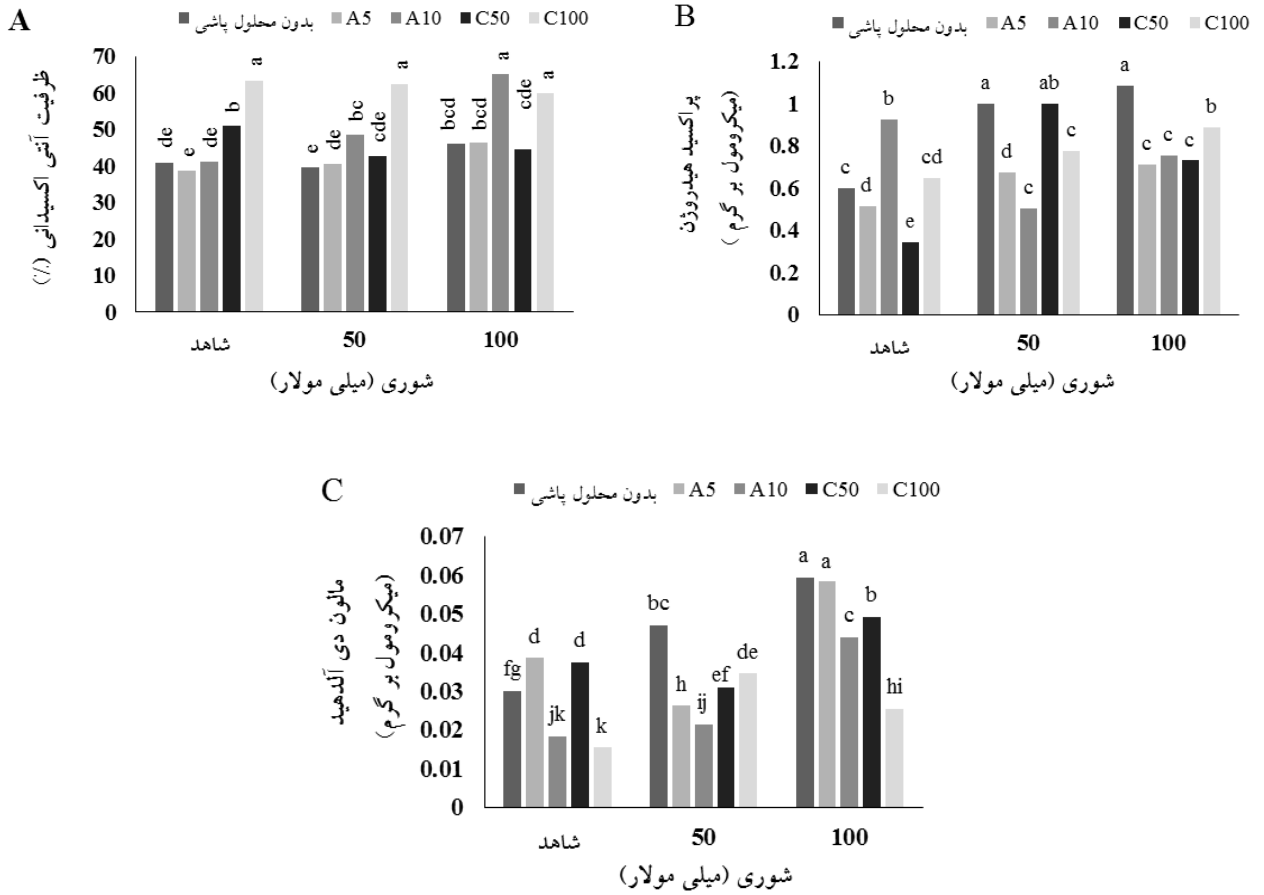
در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند (P≤0.05).

۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کیتوزان بود به میزان۳۸/۹۳ درصد بیشتر بود (جدول ۴).

صفات بیوشیمیایی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری، الیسیتور و برهمکنش آن‌ها بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی علف لیمو در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). با افزایش تنش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی علف لیمو در اغلب سطوح الیسیتور افزایش یافت. از طرف دیگر محلول‌پاشی با کیتوزان و ABA در هر سطح تنش باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با گیاهان تیمار نشده گردید (شکل 4A). در شرایط بدون تنش و شوری ۵۰ میلی‌مولار بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (به ترتیب ۶۳/۵ و ۶۲/۵ درصد) با محلول‌پاشی کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. در حالی‌که در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۶۵/۱ درصد) با محلول‌پاشی ABA ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (شکل 4A).

پراکسید هیدروژن: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر تنش شوری و الیسیتور در سطح یک درصد و برهمکنش بین آنها در سطح ۵ درصد بر پراکسید هیدروژن برگ علف لیمو معنی‌دار بود. تنش شوری باعث افزایش تولید پراکسید هیدروژن در هر سطح الیسیتور شد. بیشترین افزایش در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدست آمد (شکل 4B). اگر چه اثر الیسیتور بر تغییرات پراکسید هیدروژن در شرایط بدون تنش روند منطقی نداشت اما محلول‌پاشی با هر دو الیسیتور باعث کاهش معنی‌دار تولید پراکسید هیدروژن در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده گردید. بیشترین کاهش (۴۹/۷۰ درصد) با محلول‌پاشی ABA ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط شوری ۵۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر A) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی B) میزان مالون دی‌آلدهید و C) میزان پراکسید هیدروژن برگ علف لیمو (میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

میلی‌مولار بدست آمد (شکل 4B).

مالون دی‌آلدهید: با توجه به نتایج جدول ۵ اثر شوری، الیسیتور و برهمکنش بین آنها بر تغییرات مالون دی‌آلدهید در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش شدت تنش شوری میزان تولید مالون دی‌آلدهید ناشی از پراکسیداسیون چربی در اغلب سطوح الیسیتور بطور معنی‌دار افزایش یافت. بطوریکه این شاخص در گیاهان تیمار نشده در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با شرایط بدون شوری به میزان ۹۸/۶ درصد افزایش یافت (شکل 4C). کاربرد الیسیتور باعث کاهش پراکسیداسیون چربی و در نتیجه کاهش تولید مالون دی‌آلدهید شد بطوری‌که این ترکیبات در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در اغلب موارد باعث کاهش معنی‌دار مالون دی‌آلدهید شدند. بیشترین کاهش در شوری ۵۰ میلی‌مولار (۵۴/۴ درصد) و ۱۰۰ میلی‌مولار (۵۷/۴ درصد) به ترتیب با کاربرد ABA ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد (شکل 4C).

سدیم: نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر عامل شوری در سطح ۱٪ بر تغییرات سدیم برگ معنی‌دار بود درحالیکه اثر الیسیتور و اثر متقابل شوری و الیسیتور بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بطور باعث افزایش معنی‌دار سدیم برگ در مقایسه با شاهد و شوری ۵۰ میلی‌مولار به ترتیب به میزان ۳۷/۶ و ۳۱/۴ درصد شد. بیشترین (۸۷/۹ میلی‌گرم در گرم) و کمترین (۶۳/۹ میلی‌گرم در گرم) میزان سدیم به ترتیب در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و شاهد مشاهده شد (شکل 5A).

پتاسیم: براساس نتایج جدول ۶ اثر عامل شوری، الیسیتور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر شوری، الیسیتور و اثر متقابل آن‌ها بر صفات بیوشیمیایی علف لیمو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	پراکسید هیدروژن	مالون دی‌آلدهید
شوری	۲	۱۵۲/۵**	۰/۱**	۰/۰۰۷۳**
الیسیتور	۴	۶۲۹/۱**	۰/۴**	۰/۰۰۴۹**
الیسیتور× شوری	۸	۱۱۱/۷**	۰/۳*	۰/۰۰۵۷**
خطای آزمایش	۳۰	۱۰/۹	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۰۴۳
خطای کل	۴۴			
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۷۴	۱۳/۴۴	۲۰/۱۵

ns، * و ** به ترتیب بی‌معنی و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر شوری، الیسیتور و اثر متقابل آن‌ها بر عناصر گیاه علف لیمو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم
شوری	۲	۲۷۶۵/۰**	۸۸۸/۴**	۰/۳**
الیسیتور	۴	۱۹۳/۸ns	۱۳۶۱/۵**	۰/۶**
الیسیتور× شوری	۸	۳۳۴/۵ns	۶۱۲/۸**	۰/۴**
خطای آزمایش	۳۰	۱۶۲/۳	۱۶۳/۲	۰/۰۱
خطای کل	۴۴			
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۶/۳۶	۱۲/۷۴	۱۰/۸۶

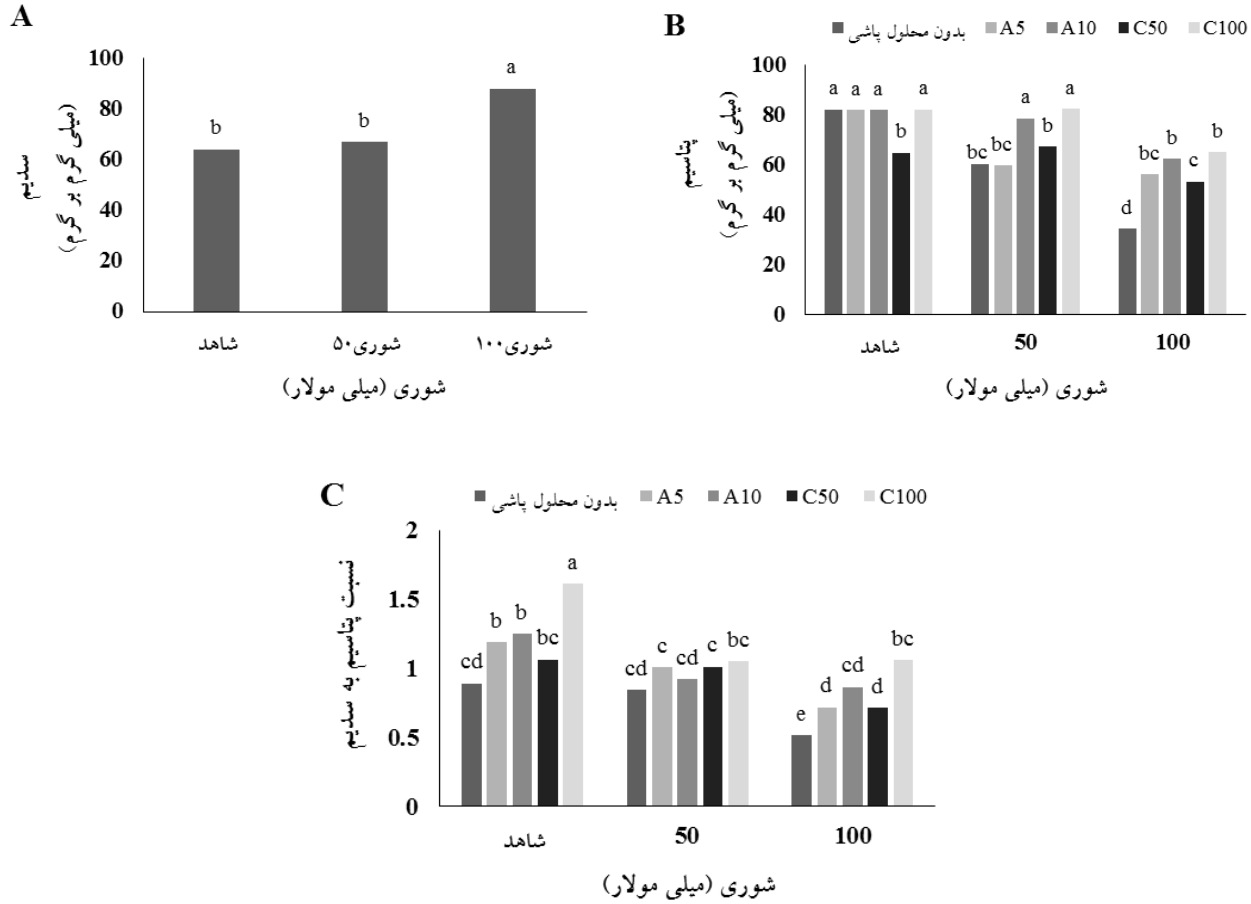
ns، * و ** به ترتیب بی‌معنی و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

و اثر متقابل آن‌ها بر پتاسیم برگ علف لیمو در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان یون پتاسیم کاهش یافته و محلول‌پاشی الیسیتورها از روند کاهشی آن‌ها جلوگیری نموده است (شکل 5B). بیشترین (۸۲/۴۰ میلی‌گرم بر گرم) میزان پتاسیم در شرایط شوری ۵۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد که با سطوح مختلف محلول‌پاشی در سطح شوری صفر میلی‌مولار (بجز کیتوزان ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و کاربرد اسید آبسیزیک ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در شوری ۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین (۳۴/۴۴ میلی‌گرم بر گرم) میزان پتاسیم در تیمار شاهد با شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل 5B).

نسبت پتاسیم به سدیم برگ: بر اساس نتایج جدول ۶ اثر سطوح مختلف شوری، الیسیتورها و برهمکنش آن‌ها بر نسبت پتاسیم به سدیم در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. تنش شوری در اغلب موارد باعث کاهش معنی‌دار نسبت پتاسیم به سدیم برگ در مقایسه با شاهد شد. محلول‌پاشی الیسیتور باعث افزایش این نسبت در سطوح مختلف شوری شد. در بین الیسیتورها، کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر در افزایش این شاخص داشت (شکل 5C). بالاترین مقدار نسبت عنصر پتاسیم به سدیم (۱/۶۱) متعلق به تیمار کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدون تنش شوری بود که با تمام تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت و باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم برگ در مقایسه با گیاهان علف لیمو محلول‌پاشی نشده به میزان ۸۱/۳ درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر A) سدیم B) پتاسیم و C) نسبت پتاسیم به سدیم برگ علف لیمو (میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

شد. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بیشترین (۱/۰۶) نسبت پتاسیم به سدیم برگ با محلول‌پاشی کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد که بیانگر افزایش ۱۰۷/۸ درصد در مقایسه با گیاهان تیمار نشده (۰/۵۱) بود (شکل 5C).

بحث

صفات رویشی: گیاهان در اثر شوری هم تنش اسمزی و هم تنش آبی را تحمل می‌کنند و یون‌های نمک انباشته‌شده برای آن‌ها کشنده است. کمبود آب در رگ‌برگ‌ها منجر به بسته شدن روزنه و کاهش رسانایی روزنه می‌شود که یکی از مکانیسم‌هایی است که سرعت فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه را محدود می‌کند (Muhammad *et al*., 2023). در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد برخی از صفات رویشی گیاه علف لیمو شامل وزن تر و خشک اندام هوایی و بوته، سطح برگ و تعداد پنجه با افزایش سطح شوری کاهش پیدا کردند. در تأیید این نتایج سلیمانی و همکاران (۱۴۰۲)، تدین و همکاران (۱۴۰۱) و Salama و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که تنش شوری باعث محدودشدن رشد علف لیمو می‌شود و با افزایش سطح شوری وزن تر و خشک و ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین گزارش شده است که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته و تعداد پنجه علف لیمو می‌شود (Rehman *et al*., 2022; Mukarram *et al*., 2023a). بدیهی است که با کاهش سطح برگ، گیاه آب کمتری را از طریق تعرق از دست می‌دهد، بنابراین محدودشدن رشد را می‌توان به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاهان برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

اجتناب از شوری دانست (Humbal and Pathak, 2023; Saddiq *et al*., 2021).

نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی کیتوزان به ویژه غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، اثرات منفی تنش شوری بر صفات رویشی گیاه علف لیمو را تعدیل کرد. در تأیید این نتایج نیز تأثیر مثبت محلول‌پاشی کیتوزان بر ویژگی‌های رویشی گیاهان زراعی مختلف از جمله علف لیمو در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Alenazi *et al*., 2024; Mukarram *et al*., 2023b; Balusamy *et al*., 2022). محلول‌پاشی کیتوزان ممکن است از یک طرف از طریق کاهش تعرق و تنظیم فشار اسمزی (Khalil and Badr Eldin, 2021) و از طرف دیگر از طریق تحریک رشد ریشه و در نتیجه افزایش جذب آب (Shahrajabian *et al*., 2021) وضعیت آبی گیاه را در شرایط تنش شوری بهبود بخشد. این موضوع باعث بهبود ویژگی‌های رویشی گیاه می‌شود. همچنین گزارش شده است که کیتوزان از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد، افزایش فعالیت‌های آنزیمی، بهبود متابولیسم نیتروژن و افزایش فتوسنتز باعث بهبود وضعیت رویشی و مقاومت گیاه در شرایط تنش شوری می‌شود (Chakraborty *et al*., 2020; Alenazi *et al*., 2024; Ullah *et al*., 2020; Massoud *et al*., 2022).

محلول‌پاشی ABA به ویژه غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث بهبود صفات رویشی علف لیمو در شرایط تنش شوری شد. اگر چه در زمینه کاربرد ABA در بهبود ویژگی‌های رویشی گیاه علف لیمو در شرایط تنش‌های محیطی مطالعه‌ای انجام نشده است اما این نتایج با نتایج Li و همکاران (۲۰۲۰) و Wang و همکاران (۲۰۲۵) که اثر هورمون ABA را در بهبود ویژگی‌های رویشی گندم و برنج در تنش شوری بررسی کردند مشابه بود. به نظر می‌رسد که ABA با تغییر سریع شارهای یونی در سلول‌های نگهبان باعث بسته‌شدن روزنه می‌شود و این امر شامل تغییراتی در بیان ژن می‌شود. ثابت شده است که سازگاری گیاهان به تنش شوری توسط مسیر سیگنالینگ ABA تنظیم می‌شود و این هورمون ممکن است از طریق افزایش تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی و بهبود پتانسیل آب سلول از طریق بسته‌شدن روزنه (Wang *et al*., 2025; Singh and Roychoudhury, 2023; Li *et al*., 2020; Anbarasi and Somasundaram, 2020)، رشد رویشی و زیست‌توده گیاهی را در شرایط تنش شوری بهبود بخشد.

صفات فیزیولوژیک: اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی معمولاً با از بین‌رفتن رنگیزه‌های فتوسنتزی همراه است. کلروفیل‌ها، به عنوان رنگیزه‌های اولیه گیاهی، در تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی نقش دارند (Tariq *et al*., 2023). در تحقیق حاضر، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید با افزایش سطح شوری به طور معنی‌دار کاهش یافت. در پژوهشی که بر روی پاسخ گونه دیگری از علف لیمو (*Cymbopogon flexuosus*) به شوری انجام شد نیز نتایج نشان داد افزایش شدت تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Aghdam *et al*., 2019).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، محلول‌پاشی کیتوزان و ABA در غلظت‌های مختلف در تمام سطوح شوری اثر مثبت بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید داشت. مشابه این نتایج محلول‌پاشی ABA باعث افزایش معنی‌دار رنگیزه‌های گیاهی برنج در شرایط تنش شوری شد (Wang *et al*., 2025). به نظر می‌رسد ABA از طریق کاهش تخریب کلروفیل، افزایش تجمع پرولین و قندهای محلول، کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن و بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی باعث حفظ میزان کلروفیل گیاه در شرایط تنش شوری می‌شود (Xu *et al*., 2022).

نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج Mukarram و همکاران (۲۰۲۲) مشابه بود که نشان دادند محلول‌پاشی کیتوزان باعث بهبود رنگیزه گیاهی علف لیمو در شرایط تنش شوری می‌شود (Mukarram *et al*., 2022). در گزارشی دیگر، غلظت‌های مختلف نانوذرات کیتوزان و کیتوزان باعث افزایش محتوای کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز گیاه (Alenazi *et al*., 2024; Nguyen Van *et al*., 2013). اسپری‌کردن کیتوزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

می‌تواند از طریق تحریک بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز رنگیزه‌های گیاهی باعث افزایش بیوسنتز آن‌ها می‌شود (Chamnanmanoontham *et al*., 2015). از طرف دیگر این ترکیب قادر است ژن‌های کدکننده آنزیم کلروفیلاز را که یک کاتالیزور برای تخریب کلروفیل است، سرکوب کند بنابراین محتوای کلروفیل را در گیاهان افزایش می‌دهند (Ghasemi Pirbalouti *et al*., 2017).

محتوای نسبی آب برگ، یک نشانگر مناسب برای سنجش میزان تنش در گیاه است. از نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان دریافت که با افزایش سطح شوری محتوای نسبی آب برگ بطور معنی‌دار کاهش یافت. درحالی‌که محلول‌پاشی کیتوزان و ABA باعث بهبود وضعیت آبی گیاه در شرایط تنش شوری و بدون تنش شوری می‌شوند. کیتوزان با تنظیم فشار اسمزی باعث افزایش دسترسی و جذب آب و عناصر غذایی ضروری می‌شود و اثر تنش شوری بر گیاه را کاهش می‌دهد و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Aazami *et al*., 2023). ABA نقش مهمی در بسته‌شدن روزنه‌ها با تنظیم شارهای یونی سلول‌های نگهبان روزنه دارد بطوری‌که با کنترل میزان باز بودن روزنه‌ها، بر تعرق و هدایت آب و در نتیجه محتوای نسبی آب اثر می‌گذارد و باعث بهبود وضعیت آبی گیاه می‌شود (Singh and Roychoudhury, 2023).

یکی از شاخص‌های آسیب ناشی از تنش شوری، میزان نسبی نشت یونی است. سطح بالاتری از نشت یونی نشان‌دهنده آسیب بیشتر شوری به سیستم غشا گیاهی است در حالی‌که مقادیر پایین‌تر نشت یونی نشان می‌دهند که گیاهان تیمارشده از آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری محافظت شده‌اند (Alqarawi *et al*., 2014).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شوری نشت یونی نیز افزایش پیدا کرد که نشان‌دهنده آسیب تنش شوری به بافت غشا است، تنش شوری اثرات منفی قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی از قبیل نشت یونی دارد. همچنین نتایج نشان داد محلول‌پاشی ABA و کیتوزان اثر مثبتی بر کاهش میزان نشت یونی داشت که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت (Parveen *et al*., 2021; Wang *et al*., 2025; Li *et al*., 2020). در تأیید گزارش شده است که محلول‌پاشی کیتوزان، از طریق کاهش تولید پراکسید هیدروژن و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون چربی باعث حفظ ساختار غشا و کاهش نشت یونی می‌شود (Alenazi *et al*., 2024). هورمون ABA می‌تواند هدایت روزنه‌ای، مصرف آب، پژمرگی و تعرق را کاهش دهد و با حفظ ساختار غشای سلولی باعث کاهش آسیب ناشی از شوری شود (Wang *et al*., 2025).

صفات بیوشیمیایی: پراکسید هیدروژن به عنوان یکی از مهمترین گونه‌های فعال اکسیژن، عمدتا در طی واکنش زنجیره انتقال الکترون در فتوسنتز کلروپلاست، تنفس میتوکندری، پراکسیزوم، آنزیم‌های تنفسی غشای پلاسمایی تولید می‌شوند. شوری تولید پراکسید هیدروژن را تحریک می‌کند که منجر به افزایش آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو سلول از طریق ناپایدار کردن پروتئین‌ها، چربی‌های غشا و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Mittler *et al*., 2022; Foyer, 2018).

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شوری باعث افزایش میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید می‌شود. در برگ علف لیمو شد که این موضوع باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی علف لیمو می‌شود. در تأیید این نتایج گزارش شده است که در شرایط تنش‌های محیطی از جمله شوری به دلیل افزایش میزان گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن در برگ علف لیمو، پراکسیداسیون چربی غشا افزایش یافته که این موضوع با افزایش میزان مالون دی‌آلدهید نمایان می‌شود (Mukarram *et al*., 2022; Rehman *et al*., 2022). از طرف دیگر افزایش میزان گونه‌های فعال اکسیژن، اثرات منفی بر فتوسنتز علف لیمو از طریق کاهش میزان کلروفیل برگ و افزایش کلروفیل فلورسانس برگ می‌گذارد (Foyer, 2018). در نتیجه در پاسخ به این شرایط، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی علف لیمو برای مقابله با این اثرت منفی تنش به عنوان یک مکانیزم دفاعی افزایش می‌یابد (Mukarram *et al*., 2023b; Rehman *et al*., 2022).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که محلول‌پاشی علف لیمو

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

با الیسیتورهای کیتوزان و ABA باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه کاهش تولید پراکسید هیدروژن و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون چربی غشا و در نهایت کاهش تولید مالون دی‌آلدهید در شرایط تنش شوری می‌شود. علاوه بر این کاربرد کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ABA ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در این زمینه کاراتر بودند. در تأیید این نتایج گزارش شده است که محلول‌پاشی کیتوزان باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی علف لیمو در شرایط تنش شوری می‌شود (Mukarram *et al*., 2023b). مطالعات نشان داده است که کیتوزان از طریق فعال‌کردن آنزیم‌های مهارکننده گونه‌های فعال اکسیژن باعث کاهش پراکسیداسیون چربی و در نتیجه کاهش مالون دی‌آلدهید در گیاه می‌شوند (Alenazi *et al*., 2024; Rabelo *et al*., 2019). همچنین کیتوزان از طریق افزایش بیان ژن‌های مسئول سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجود در هسته و کلروپلاست باعث بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شوند (Rabelo *et al*., 2019; Chamnanmanoontham *et al*., 2015). از طرف دیگر کیتوزان پس از ورود به گیاه در اثر فعالیت آنزیم‌های کیتین سینتاز و کیتوزان دِاستیلاز تغییر ساختار داده و به اولیگومر کیتوزان تبدیل می‌شود که این ترکیب به عنوان یک پیام‌رسان ثانویه قوی باعث تحریک فعالیت آنزیمی عمل می‌کند (Hadwiger, 2015).

ABA در القای فرآیند سیستم دفاعی و آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی دارد. به نظر می‌رسد آبسیزیک اسید با ایجاد تغییرات متابولیک سلولی سبب افزایش سطح رادیکال‌های اکسیژن و در پی آن، افزایش فعالیت سیستم دفاع آنزیمی می‌شود (Ali *et al*., 2020; Edel and Kudlu, 2016). مشابه نتایج حاضر Chen و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که محلول‌پاشی ABA با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های غیرآنتی‌اکسیدانی و همچنین کاهش آسیب اکسیداتیو اثر بازدارندگی ناشی از شوری را در گیاه برنج کاهش می‌دهد. از طرف دیگر ABA با اتصال به گیرنده‌های غشای پلاسمایی باعث فعال‌شدن آبشارهای پیام‌رسانی از طریق اسیدی‌شدن محیط سیتوزول و فعال‌سازی بیان ژن‌های مسئول سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود (Wong *et al*., 2022).

عناصر برگ: در تحقیق حاضر، با افزایش سطوح شوری غلظت Na^+ در اندام هوایی علف لیمو افزایش پیدا کرد که این موضوع همراه با کاهش غلظت K^+ و درنتیجه کاهش نسبت پتاسیم به Na^+ بود. این نتایج مشابه با نتایج سایر محققین بود که نشان دادند در شرایط تنش شوری، تجمع Na^+ در اندام هوایی باعث کاهش K^+ می‌گردد (Alenazi *et al*., 2024). یون‌های Na^+ و K^+، که خواص فیزیکوشیمیایی مشابهی دارند، در محل‌های انتقال برای ورود به سمپلاست رقابت می‌کنند بنابراین سطوح بالاتر Na^+ در ریزوسفر جذب K^+ را در خاک شور کاهش می‌دهد از این رو گیاهان باید به‌طور مداوم نسبت پایین Na^+ به K^+ را برای تحمل تنش شوری حفظ کنند (Evelin *et al*., 2019).

جریان بالای Na^+ در محیط ریشه باعث مهار جذب K^+ می‌شود که در نهایت ظرفیت فتوسنتزی، فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، بیوسنتز و عملکرد پروتئین، آزادسازی هورمون و متابولیسم گیاهی و به این ترتیب رشد و عملکرد گیاه را مختل می‌کند (Kamran *et al*., 2020). پایین‌بودن نسبت K^+ به Na^+ در شرایط تنش شوری، بیانگر عدم توانایی گیاه در اجتناب از شوری از طریق کاهش جذب سدیم و تحمل کمتر گیاه و در نتیجه آسیب بیشتر گیاه به شرایط شوری خاک می‌باشد (Li and Yang, 2023).

محلول‌پاشی الیسیتورها باعث افزایش نسبت K^+ به Na^+ شد و تأثیر کیتوزان در مقایسه با ABA در بهبود این شاخص بیشتر بود. در تأیید این نتایج گزارش شده است که محلول‌پاشی کیتوزان در شرایط تنش شوری مانع از ایجاد اختلال در هموستازی یون می‌گردد و در نتیجه منجر به افزایش غلظت یون‌های مفید مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و آهن و کاهش یون‌های مضر مانند سدیم در گیاهان تحت تنش شوری می‌گردد (Elkarmout *et al*., 2022). از طرف دیگر ثابت شده است که محلول‌پاشی ABA، از طریق کاهش تعرق، باعث کاهش جذب Na^+ از طریق ریشه می‌شود که این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

موضوع باعث کاهش تجمع این یون در اندام هوایی در شرایط تنش شوری می‌شود (Parveen *et al.*, 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد شوری اثر منفی بر صفات رویشی و فیزیولوژیک گیاه علف لیمو دارد به‌طوریکه شوری موجب اثر منفی روی صفات رویشی، کاهش مقادیر رنگیزه گیاهی و نسبت K^+ به Na^+ اندام هوایی علف لیمو می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی کیتوزان و ABA در تمامی سطوح شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) اثر مثبتی بر صفات مورد ارزیابی در علف لیمو دارد و می‌توان از آن‌ها جهت کاهش اثرات نامطلوب شوری بر گیاه علف لیمو استفاده نمود. محلول‌پاشی علف لیمو با کیتوزان و ABA باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های رویشی، رنگدانه‌های گیاهی و نسبت K^+ به Na^+ اندام هوایی می‌شود. همچنین این دو ترکیب از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش پراکسیداسیون چربی و حفظ ساختار غشا سلولی علف لیمو در شرایط تنش شوری شدند. با بررسی کلیه صفات اندازه‌گیری شده می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی علف لیمو با کیتوزان و ABA احتمالاً از طریق افزایش رنگدانه‌های گیاهی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و همچنین بهبود شاخص نسبت پتاسیم به سدیم اثرات منفی شوری را تعدیل می‌کند که در این بین کیتوزان در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای بهبود رشد گیاه علف لیمو در همه شرایط مناسب‌تر بود.

منابع

باغبانی آرانی، ابوالفضل، و اداوی، ظهراب (۱۴۰۰). ارزیابی اثر سطوح و انواع مختلف کود نیتروژن بر رشد، عملکرد زیستی و اسانس و ترکیبات آن در دو توده شوید. *نشریه علوم گیاهان زراعی ایران*. ۵۲، ۸۳-۹۵. https://dor.isc.ac/dor/ 20.1001.1.20084811.1400.52.2.7.5

تدین، محمودرضا، نظرنژاد، غلامرضا، دانش شهرکی، عبدالرزاق، و حاجبی، عبدالحمید (۱۴۰۱). اثر تیمارهای آب شور و برخی کودهای آلی بر صفات فیزیولوژیکی و رشد گیاه لمون گراس (*Cymbopogon citratus*) *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۳۳(۱۰)، ۲۷- ۳۸. doi: 10.22052/deej.2021.10.33.21

سلیمانی، فائزه، صمصام‌پور، داود، و باقری، عبدالنبی (۱۴۰۲). 'بررسی اثر قارچ آربوسکولار بر گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) تحت تنش شوری. *علوم باغبانی*، ۳۷(۳)، ۶۵۳-۶۴۳. doi: 10.22067/jhs.2022.75236.1140

شامخ، محمدرضا، جعفری، لیلا، و عبدالهی، فرزین (۱۴۰۱). اثر محلول‌پاشی برخی تعدیل‌کننده‌های زیستی بر ویژگی‌های زیست شیمیایی، رویشی و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شرایط تنش خشکی. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۲۳(۳)، ۴۲۵- ۴۳۶. http://journal-irshs.ir/article-1-562-fa.html

شامخ، محمدرضا، جعفری، لیلا، و عبدالهی، فرزین (۱۴۰۰). اثر تعدیل‌کنندگی پرولین، کیتوزان و مشتقات آن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص‌های کلروفیل فلورسانس، ویژگی‌های کیفی و عملکرد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (*Lycopersicon esculentum* Mill.) در شرایط کم‌آبیاری. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۰(۴۱)، ۷۷-۹۵. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1451-fa.html

کافی، محمد، باقری، عبدالرضا، نباتی، جعفر، زارع مهرجردی، محمد، و معصومی، علی (۱۳۸۹). بررسی تأثیر تنش شوری بر برخی متغیرهای فیزیولوژیک ۱۱ ژنوتیپ نخود در محیط هیدروپونیک. *روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای)*، ۱(۴)، ۵۵-۶۹.

Aazami, M. A., Maleki, M., Rasouli, F., & Gohari, G. (2023). Protective effects of chitosan based salicylic acid nanocomposite (CS - SA NCs) in grape (*Vitis vinifera* cv . ' Sultana ') under salinity stress. *Scientific Reports*, 1-15. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27618-z

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

Aghdam, M. S., Kakavand, F., Rabiei, V., Zaare-Nahandi, F., & Razavi, F. (2019). γ-Aminobutyric acid and nitric oxide treatments preserve sensory and nutritional quality of cornelian cherry fruits during postharvest cold storage by delaying softening and enhancing phenols accumulation. *Scientia Horticulturae*. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.064

Alenazi, M. M., El-Ebidy, A. M., El-shehaby, O. A., Seleiman, M. F., Aldhuwaib, K. J., & Abdel-Aziz, H. M. M. (2024). Chitosan and chitosan nanoparticles differentially alleviate salinity stress in *Phaseolus vulgaris* L. plants. *Plants*, *13*(3), 398. https://doi.org/10.3390/plants13030398

Ali, A., Pardo, J. M., & Yun, D. J. (2020) Desensitization of ABA-signaling: The swing from activation to degradation. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 1-7. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00379

Alqarawi, A. A., Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alshahrani, T. S., & Huqail, A. A. (2014). Effect of salinity on moisture content, pigment system, and lipid composition in *Ephedra alata* Decne. *Acta Biologica Hungarica*, *65*(1), 61-71. https://doi.org/10.1556/ABiol.65.2014.1.6

Anbarasi, G, & Somasundaram, S. T. (2020). Growth regulation and proteomic approaches of exogenous abscisic acid induced changes on salt tolerance factors in *Suaeda maritima*. *Plant Physiology Reports*, *25*(1), 33-50. https://doi.org/10.1007/s40502-019-00477-5

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.

Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, *2*(2), 95-96. https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w

Avoseh, O., Oyedeji, O., Rungqu, P., Nkeh-chungag, B., & Oyedeji, A. (2015). Cymbopogon Species; Ethnopharmacology, Phytochemistry and the Pharmacological Importance. *Molecules*, *20*(5), 7438-7453. https://doi.org/10.3390/molecules20057438

Balusamy, S. R., Rahimi, S., Sukweenadhi, J., Sunderraj, S., Shanmugam, R., Thangavelu, L., Mijakovic, I., & Perumalsamy, H. (2022). Chitosan, chitosan nanoparticles and modified chitosan biomaterials, a potential tool to combat salinity stress in plants. *Carbohydrate Polymers*, *284*, 119189. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119189

Barka, E. A., Lahlali, R., & Mauch-Mani, B. (2022). Editorial: Elicitors, secret agents at the service of the plant kingdom. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 8-10. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1060483

Borges, P. H. O., Pedreiro, S., Baptista, S. J., Geraldes, C. F. G. C., Batista, M. T., Silva, M. M. C., & Figueirinha, A. (2021). Inhibition of α-glucosidase by flavonoids of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *Journal of Ethnopharmacology*, *280*, 114470.

Carvalho, J. N., de, Roncalli, A. G., Cancela, M. de C., & Souza, D. L. B. de. (2017). Prevalence of multimorbidity in the Brazilian adult population according to socioeconomic and demographic characteristics. *PloS One*, *12*(4), e0174322.

Chakraborty, M., Hasanuzzaman, M., Rahman, M., Khan, M. A. R., Bhowmik, P., Mahmud, N. U., Tanveer, M., & Islam, T. (2020). Mechanism of plant growth promotion and disease suppression by chitosan biopolymer. *Agriculture (Switzerland)*, *10*(12), 1-30. https://doi.org/10.3390/agriculture10120624

Chamkhi, I., Benali, T., Aanniz, T., El Menyiy, N., Guaouguaou, F. E., El Omari, N., El-Shazly, M., Zengin, G., & Bouyahya, A. (2021). Plant-microbial interaction: The mechanism and the application of microbial elicitor induced secondary metabolites biosynthesis in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *167*, 269-295.

Chamnanmanoontham, N., Pongprayoon, W., Pichayangkura, R., Roytrakul, S., & Chadchawan, S. (2015). Chitosan enhances rice seedling growth via gene expression network between nucleus and chloroplast. *Plant Growth Regulation*, *75*, 101-114.

Chen, G., Zheng, D., Feng, N., Zhou, H., & Mu, D. (2022). Physiological mechanisms of ABA‐induced salinity tolerance in leaves and roots of rice. *Scientific Reports*, 1-26. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11408-0

Cherki, G. H., Foursy, A., & Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, *47*, 39-50. https://doi.org/10.1007/s42976-022-00322-w

Du, X., Zhang, M., Wang, S., Li, J., Zhang, J., & Liu, D. (2024). Ethnopharmacology, chemical composition and functions of *Cymbopogon citratus*. *Chinese Herbal Medicines*, *16*(3), 358-374. https://doi.org/10.1016/j.chmed.2023.07.002

Edel, K. H, & Kudlu, J. (2016). Integration of calcium and ABA signaling. *Science Direct*. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.010

Elkarmout, A. F., Yang, M., & Hassan, F. A. (2022). Chitosan treatment effectively alleviates the adverse effects of salinity in *Moringa oleifera* Lam via enhancing antioxidant system and nutrient homeostasis. *Agronomy*, *12*, 2513. https://doi.org/10.3390/agronomy12102513

EL Sabagh, A., Islam, M. S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., Hossain, A., Mahboob, W., Iqbal, M. A., Ratnasekera, D., Singhal, R. K., Ahmed, S., Kumari, A., Wasaya, A., Sytar, O., Brestic, M., Cig, F., Erman, M., Habib Ur Rahman, M., & Arshad, A. (2021). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

changing climate: Adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy, 3*, 1-20. https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932

Evelin, H., Devi, T., Gupta, S., & Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by Arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470

Foyer, C. H. (2018). Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany, 154*, 134-142. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot. 2018.05.003

Ghahari, S., Sheybani, F., Zarnagh, H., Farokhnezhad Afshar, P., & Jamil, L. (2023). Comparison of the three methods of psychotherapy on marital satisfaction and intimacy in married women. *Moscow State University of Psychology and Education*, *12*, 1-17. https://doi.org/10.17759/cpse.2023120101

Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., & Golparvar, A. (2017). Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae*, *217*, 114-122. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.031

Hadwiger, L. A. (2015). Anatomy of a nonhost disease resistance response of pea to *Fusarium solani*: PR gene elicitation via DNase, chitosan and chromatin alterations. *Frontiers in Plant Science, 6*, 373. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00373

Hafeez, M. B., Raza, A., Zahra, N., Shaukat, K., Akram, M. Z., Iqbal, S., & Basra, S. M. A. (2020). Handbook of Bioremediation: Physiological, Molecular and Biotechnological Interventions. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00022-3

Hamada, A. M, & El-Enany, A. E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, *36*, 75-81. https://doi.org/10.1007/BF02921273

Huang, Y., Zhou, J., Li, Y., Quan, R., Wang, J., Huang, R., & Qin, H. (2021). Salt stress promotes abscisic acid accumulation to affect cell proliferation and expansion of primary roots in rice. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(19), 10892.

Humbal, A, & Pathak, B. (2023). Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review (' "VSI: secondary metabolites"'). *Plant Stress*, *8*, 100166. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100166

Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*, *52*(1), 39. https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3

Kamies, R., Cannarozzi, G., Tadele, Z., Farrant, J., & Rafudeen, M. (2014). A proteomic approach to investigate the response of Eragrostis tef to drought. In: Proceedings of the 1st INPPO World Congress on Plant Proteomics: Methodology to Biology.

Kamran, M., Parveen, A., Ahmar, S., Malik, Z., Hussain, S., Chattha, M. S., Saleem, M. H., Adil, M., Heidari, P., & Chen, J. T. (2020). An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(1), 148. https://doi.org/10.3390/ijms21010148

Khalil, H. A, & Badr Eldin, A. M. (2021). Chitosan improves morphological and physiological attributes of grapevines under deficit irrigation conditions. *Journal of Horticultural Research*, *29*(1), 9-22. https://doi.org/10.2478/johr-2021-0003

Li, J, & Yang, Y. (2023). How do plants maintain pH and ion homeostasis under saline-alkali stress? *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1217193. https://doi.org/doi: 10.3389/fpls.2023.1217193

Li, C., Luo, Y., Zhang, W., Cai, Q., Wu, X., Tan, Z., Chen, R., Chen, Z., Wang, S., & Zhang, L. (2021). A comparative study on chemical compositions and biological activities of four essential oils: *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *Cinnamomum cassia* (L.) Presl, *Salvia japonica* Thunb. and *Rosa rugosa* Thunb. *Journal of Ethnopharmacology*, *280*, 114472.

Li, X., Li, S., Wang, J., & Lin, J. (2020). Exogenous abscisic acid alleviates harmful effect of salt and alkali stresses on wheat seedlings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(11). https://doi.org/10.3390/ijerph17113770

Massoud, G. F., Dapor, A. S., El-mansoury, M. A. M., & Mark, C. (2022). Impact of chitosan on growth and yield of lemongrass plant at different levels of irrigation water under sandy soil conditions. *Journal of Plant Production*, *13*(6), 251-263. https://doi.org/10.21608/jpp.2022.139065.1110

Mittler, R., Zandalinas, S. I., Fichman, Y., & Van Breusegem, F. (2022). Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 23*, 663-679. https://doi.org/10.1038/s41580-022-00499-2

Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, *17*, 1667-1692. https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x

Muhammad, M. F., Aftab, B., Azam, M., Firdous, S., & Sadia, S. (2023). Short review : Crosstalk between abiotic and

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

biotic stress responses of Cymbopogon species. *Research Gate*, 1-11.

Mukarram, M., Khan, M. M. A., Uddin, M., & Corpas, F. J. (2022). Irradiated chitosan (ICH): An alternative tool to increase essential oil content in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*). *Acta Physiologiae Plantarum*, *44*(1), 1-15. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03335-w

Mukarram, M., Khan, M. M. A., Kurjak, D., Lux, A., & Corpas, F. J. (2023a). Silicon nanoparticles (SiNPs) restore photosynthesis and essential oil content by upgrading enzymatic antioxidant metabolism in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1116769. doi: 10.3389/fpls.2023.1116769

Mukarram, M., Khan, M. M. A., Kurjak, D., & Corpas, F. J. (2023b). Chitosan oligomers (COS) trigger a coordinated biochemical response of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) plants to palliate salinity-induced oxidative stress. *Scientific Reports*, *13*, 8636. https://doi.org/10.1038/s41598-023-35931-w

Nguyen Van, S., Dinh Minh, H., & Nguyen Anh, D. (2013). Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *2*(4), 289-294. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.06.001

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(6), 4056-4075. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1

Parveen, A., Ahmar, S., Kamran, M., Malik, Z., Ali, A., Riaz, M., Abbasi, G. H., Khan, M., Sohail, A., Rizwan, M., Afzal, S., & Ali, S. (2021). Abscisic acid signaling reduced transpiration flow, regulated Na^+ ion homeostasis and antioxidant enzyme activities to induce salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Environmental Technology and Innovation*, *24*, 101808. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101808

Rabelo, V. M., Magalhaes, P. C., Bressanin, L. A., Carvalho, D. T., Oliveira dos Reis, C., Karam, D., Doriguetto, A. C., Henrique dos Santos, M., Rodrigues dos Santos Santos Filho, P., & De Souza, T. C. (2019). The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. *Scientific Reports*, *9*, 8164. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44649-7

Rehman, Z., Hussain, A., & Saleem, S. (2022). Exogenous application of salicylic acid enhances salt stress tolerance in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus* STEUD. WATS.). *Pakistan Journal of Botany*, *54*(2), 371-378. http://dx.doi.org/10.30848/PJB2022-2(13)

Saddiq, M. S., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Ibrahim, A. M. H., Raza, A., Fatima, E. M., Baloch, H., Jahanzaib Woodrow, P., & Ciarmiello, L. F. (2021). Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*, *11*(6). https://doi.org/10.3390/agronomy11061193

Salama, F. M., Abdel-Rahman, S. S. A., Ragaey, M. M., Mostafa, N. M. M., & Abdel-Kader, A. A. S. (2023). Biological and chemical substances as stimulants-inducing growth and oil yield in lemongrass under salinity stress. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, *54*(4), 90-107. https://dx.doi.org/10.21608/ajas.2023.237082.1294

Salimi, F., Abdollahi, F., & Yavari, A. (2024). Investigating the quantitative and qualitative changes of Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil in response to drying methods. *Chemistry Africa*, *7*, 3077-3087. https://doi.org/10.1007/s42250-024-01023-z

Sepaskhah, A. R., Azizian, A., & Tavakoli, A. R. (2006). Optimal applied water and nitrogen for winter wheat under variable seasonal rainfall and planning scenarios for consequent crops in a semi- arid region. *Agricultural Water Management*, *8*(4), 113-122. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.008

Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., Tzortzakis, N., & Petropoulos, S. A. (2021). Sustainable agriculture systems in vegetable production using chitin and chitosan as plant biostimulants. *Biomolecules*, *11*(6), 819. https://doi.org/10.3390/biom11060819

Sharif, R., Mujtaba, M., Ur Rahman, M., Shalmani, A., Ahmad, H., Anwar, T., Tianchan, D., & Wang, X. (2018). The multifunctional role of chitosan in horticultural crops; A review. *Molecules*, *23*, 872. https://doi.org/10.3390/molecules23040872

Sheng, K., Zheng, H., Shui, S. S., Yan, L., Liu, C., & Zheng, L. (2018). Comparison of postharvest UV-B and UV-C treatments on table grape: Changes in phenolic compounds and their transcription of biosynthetic genes during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *138*, 74-81. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.002

Singh, A, & Roychoudhury, A. (2023). Abscisic acid in plants under abiotic stress: Crosstalk with major phytohormones. *Plant Cell Reports*, *42*, 961-974. https://doi.org/10.1007/s00299-023-03013-w

Solomon, O., Enitan, F., Temitope, D., & Abraham, K. (2019). Phytochemistry and pharmacological activities of Cymbopogon citratus : A review. *Scientific African*, *6*, e00137. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00137

Tariq, S., Bano, A., & Khan, N. (2023). Comparative analysis of various strains of plant growth promoting rhizobacteria on the physiology of garlic (*Allium sativum*). *Natural Science*, *15*(03), 79-90. https://doi.org/10.4236/ns.2023.153007

Toscano, S., Romano, D., & Ferrante, A. (2023). *Molecular Responses of Vegetable , Ornamental Crops , and Model Plants to Salinity Stress. International Journal of Molecular Sciences*, *24*(4), 3190.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

Ullah, N., Basit, A., Ahmad, I., Ullah, I., Shah, S. T., Mohamed, H. I., & Javed, S. (2020). Mitigation the adverse effect of salinity stress on the performance of the tomato crop by exogenous application of chitosan. *Bulletin of the National Research Centre, 44*, 181. https://doi.org/10.1186/s42269-020-00435-4

Umukoro, S., Ben-Azu, B., Ajayi, A. M., Adebesin, A., & Emokpae, O. (2020). *Cymbopogon citratus* aqueous leaf extract attenuates neurobehavioral and biochemical changes induced by social defeat stress in mice. *Chinese Herbal Medicines*, *12*(3), 303-309.

Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, *151*(1), 59-66. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1

Wang, X., Ma, G., Feng, N., Zheng, D., Zhou, H., Li, J., Wu, J., Xu, B., Su, W., & Huang, Y. (2025). Abscisic acid can improve the salt tolerance and yield of rice by improving its physiological characteristics. *Agronomy*, *15*(2), 309. https://doi.org/10.3390/agronomy15020309

Wong, A., Bi, C., Pasqualini, S, & Gehring, C. (2022). Abscisic acid (ABA) signaling: finding novel components off the beaten track. *Plant Growth Regulation, 97*, 585-592. https://doi.org/10.1007/s10725-022-00823-y

Woodrow, P., Ciarmiello, L. F., Annunziata, M. G., Pacifico, S., Iannuzzi, F., Mirto, A., D'Amelia, L., Dell'Aversana, E., Piccolella, S., Fuggi, A., & Carillo, P. (2017). Durum wheat seedling responses to simultaneous high light and salinity involve a fine reconfiguration of amino acids and carbohydrate metabolism. *Physiologia Plantarum, 159*(3), 290-312. https://doi.org/10.1111/ppl.12513

Xu, Z., Wang, J., Zhen, W., Sun, T., & Hu, X. (2022). Abscisic acid alleviates harmful effect of saline–alkaline stress on tomato seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *175*, 58-67. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.018

Ye, N., Wang, Y., Yu, H., Qin, Z., Zhang, J., & Duan, M. (2023). Abscisic acid enhances trehalose content via OsTPP3 to improve salt tolerance in rice seedlings. *Plants (Basel), 12*(14), 2665.

Zheng, H., Liu, W., Liu, S., Liu, C., & Zheng, L. (2019). Effects of melatonin treatment on the enzymatic browning and nutritional quality of fresh-cut pear fruit. *Food Chemistry, 299*, 125116. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125116

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]

Physiological, biochemical responses and changes in leaf element of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) to some elicitors under salt stress conditions

Fatemeh Salimi, Farzin Abdollahi*, Alireza Yavari

Department of Horticulture Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
(Received: 2025/04/13, Accepted: 2025/06/10)

Abstract

Recently, applying biological and hormonal elicitors, including chitosan and abscisic acid (ABA), has been recommended to mitigate the harmful effects of environmental stresses, such as salinity stress, in various plants. For this purpose, this study was conducted as a factorial experiment with two factors: salinity (0, 50, and 100 mM) and different levels of elicitor application (0, 50 mg/L chitosan, 100 mg/L chitosan, 10 mg/L ABA, and 5 mg/L ABA) in a completely randomized design with three replicates in the University of Hormozgan on lemongrass under salinity stress. The present study showed that salinity harmed lemongrass vegetative and physiological traits and the ionic composition. A salinity level of 100 mM significantly reduced the shoot dry weight, total dry weight, and leaf area by 20.71%, 12.40%, and 27.76%, respectively, and increased Na^+ content in leaves by 37.60% compared to the control without spraying. Under 100 mM salinity conditions, the application of 100 mg/L chitosan significantly increased the shoot fresh weight of aerial parts, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids by 20.86%, 229.5%, 105.3%, 206.8%, and 196.2%, respectively. The application of 10 mg/L ABA resulted in a significant increase in the total fresh weight and the number of tillers by 22.9% and 85.0%, respectively, compared to the control. Salt stress increases hydrogen peroxide production, which leads to enhanced membrane lipid peroxidation and consequently higher malondialdehyde (MDA) levels. Meanwhile, elicitors limited lipid peroxidation and MDA production by boosting antioxidant capacity. Among these, chitosan at 100 mg/L and ABA at 10 mg/L were the most effective. The results indicated that the application of elicitors increased relative water content, enhanced the K^+ to Na^+ ratio, and reduced ionic leakage under salinity stress conditions. Therefore, using biological elicitors, especially 100 mg/L chitosan, increased adaptation of lemongrass to salinity stress, which could be considered a strategy for the growth improvement of this plant in saline areas of Iran.

Keywords: Abscisic acid, Chitosan, Medicinal plant, Lemongrass

Corresponding author, Email: fabdollahi@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.227]