فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۵، خرداد و تیرماه ۱۴۰۴ صفحه: ۲۲۷-۲۴۴
https://doi.org/10.22034/14.66.227

مقاله پژوهشی

اثر آلانتوئین بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در شرایط تنش شوری و کشت هیدروپونیک

نیلوفر مصطفوی، خدیجه کیارستمی* و منا صراحی نوبر
گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲)

چکیده

با توجه به محدودیت دسترسی به زمین‌های قابل کشت و اولویت‌دهی به تولید محصولات غذایی، کاشت گیاهان دارویی در خاک‌های شور می‌تواند گزینه‌ای مناسب باشد. به منظور بررسی تأثیر آلانتوئین بر رشد و فیزیولوژی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در شرایط تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در سیستم‌های هیدروپونیک در دانشگاه الزهرا انجام گردید. تیمارها شامل سه سطح شوری (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و سه سطح آلانتوئین (صفر، ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار) بودند. تنش شوری، به‌ویژه در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار، باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک شاخساره (۵۲٪)، محتوای نسبی آب برگ (۸۳٪)، فلورسانس کلروفیل (۲۹٪)، محتوای کلروفیل کل (۵٪)، پروتئین (۲۷٪) و قندهای پلی‌ساکاریدی (۳۲٪) نسبت به شاهد شد. نشت یونی (۲/۹ برابر) و محتوای پرولین (۱/۶ برابر) در شرایط تنش در مقایسه با شاهد افزایش یافت. کاربرد غلظت‌های ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار آلانتوئین در سطوح مختلف تنش شوری باعث بهبود برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی نسبت به شاهد شد. به ویژه، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین تحت تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری باعث کاهش نشت یونی (۲۰٪) و افزایش محتوای کلروفیل کل (۸٪)، محتوای نسبی آب برگ (۵۲/۳۰٪)، فلورسانس کلروفیل (۲۷/۸۳)، محتوای پروتئین (۴۷٪)، پرولین (۲۴٪)، آنتوسیانین (۵۵٪)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۰۷٪)، محتوای قندهای احیایی (۴٪) و پلی‌ساکاریدی (۶۴٪) نسبت به شاهد شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که آلانتوئین با بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه می‌تواند تأثیرات منفی تنش شوری را کاهش دهد. در نتیجه، کاربرد آلانتوئین به‌عنوان یک رویکرد پایدار و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش تحمل زوفا به شوری پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: آلانتوئین، تنش شوری، زوفا، نشت یونی

مقدمه

شوری خاک یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که با تأثیر بر تولیدات کشاورزی، امنیت غذایی را در سراسر جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به خطر می‌اندازد. پاسخ گیاهان به شوری به عوامل متعددی مانند نوع گونه گیاهی، مرحله رشد، شدت و مدت تنش بستگی دارد (Munns and Tester, 2008). در حال حاضر، یک سوم زمین‌های کشاورزی جهان به دلیل استفاده از شیوه‌های آبیاری نامناسب و استفاده بیش از حد از کودها و سموم شیمیایی دچار تنش شوری شده‌اند و آلودگی صنعتی نیز این مشکل را تشدید

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: kh.kiarostami@alzahra.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

می‌کند (Zhao *et al*., 2020). خاک‌های شور تقریباً ۸۳۳ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار داده‌اند (FAO, 2021). تنش یونی و اسمزی ناشی از غلظت بالای نمک سبب اختلال در روابط آبی، کاهش تقسیم و گسترش سلولی، بازدارندگی ظرفیت فتوسنتزی و تغییر فرآیندهای متابولیکی گیاهان می‌شود. علاوه بر این تنش یونی و اسمزی با تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (reactive oxygen species) منجر به آسیب قابل توجه به ساختارهای سلولی، تغییر متابولیسم طبیعی و کاهش رشد گیاهان می‌شود (Balasubramaniam *et al*., 2023). سیستم دفاعی ذاتی گیاه با افزایش سنتز و تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها و اسمولیت‌های سازگار (مانند پرولین، پروتئین‌های محلول و قندهای احیایی) از پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و سایر مولکول‌های زیستی در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند. همچنین این املاح آلی با حفظ محتوای آب سلولی به بهبود عملکرد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند (Arif *et al*., 2020). گاهی اوقات سیستم دفاعی ذاتی گیاه برا مقابله با اثرات مخرب تنش شوری کافی نیست و روش‌های مناسبی مورد نیاز است که تحمل گیاهان را در شرایط تنش بهبود بخشد. کاربرد ترکیبات تعدیل‌کننده تنش مانند آلانتوئین راهکاری سریع و مقرون به صرفه برای کاهش اثرات مخرب تنش است (Raihan *et al*., 2023).

آلانتوئین (۵ اوریدو- هیدانتوئین) و شکل هیدرولیزشده آن (آلانتوات) به‌طورکلی اورید نامیده می‌شوند (Werner and Witte, 2011). آلانتوئین به عنوان یک متابولیت حد واسط با تخریب اکسیداتیو پورین‌ها ایجاد می‌شود و پتانسیل بالایی برای حفاظت از گیاهان در برابر عوامل تنش‌زای محیطی دارد. اوریدها در مقایسه با فرم‌های آمیدی (گلوتامین و آسپاراژین) نسبت کربن به نیتروژن کمتری دارند و در انتقال نیتروژن بهتر عمل می‌کنند (Raihan *et al*., 2023). ثابت شده است که آلانتوئین در شرایط عادی با انتقال و استفاده مجدد از نیتروژن به رشدونمو گیاه کمک می‌کند. اخیراً نقش آلانتوئین در کاهش اثرات مخرب تنش‌های مختلف مانند شوری، خشکی و فلزات سنگین گزارش شده است (Kaur *et al*., 2023). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که آلانتوئین با مهار گونه‌های فعال اکسیژن و فعال‌سازی بیوسنتز اسید آبسیزیک نقش حفاظتی خود را در برابر تنش ایفا می‌کند (Chowrasia *et al*., 2023). علاوه بر این آلانتوئین با بهبود وضعیت آبی گیاه، افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار و کاهش جذب سدیم سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری می‌شود. تأثیر آلانتوئین در کاهش اثرات مخرب تنش شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است (Chowrasia *et al*., 2023; Irani and Todd, 2018; Liu *et al*., 2020). در پژوهشی، افشانه غلظت‌های ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار آلانتوئین باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و قندهای محلول گیاه نخود در شرایط تنش شوری ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم شد (Liu *et al*., 2020). رشد گیاه کلزا با افشانه برگی غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار آلانتوئین در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (Raihan *et al*., 2023).

زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گیاهی معطر، چندساله و نیمه‌بوته‌ای از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. این گیاه به خشکی مقاوم است و به‌طور گسترده در زیستگاه‌های آفتاب‌گیر روی خاک‌های خشک، صخره‌ای و کلسیمی در مناطق جنوبی اروپا، آسیای مرکزی و خاورمیانه رشد می‌کند (Ahmadi *et al*., 2020). شاخساره‌های زوفا دارای عطر و طعم کمی تند و بسیار مطبوع است و به عنوان طعم‌دهنده در صنایع غذایی استفاده می‌شود. استفاده دارویی از ترکیبات فعال موجود در شاخساره‌های زوفا سابقه طولانی دارد و تأثیر مثبت این ترکیبات در درمان التهاب حنجره، آسم، برونشیت و تبخال گزارش شده است (Skrypnik *et al*., 2022). همچنین اسانس و عصاره زوفا دارای خواص ضدعفونی‌کننده، ضدقارچی، ضدویروسی، ضدپلاکت و آنتی‌اکسیدانی است (Fathiazad *et al*., 2011). انواع مختلفی از متابولیت‌های ثانویه شامل اسانس، فنل‌ها، فلاونوئیدها و مشتقات گلیکوزیدی آن‌ها در شاخساره‌های گیاه زوفا شناسایی شده است (Ahmadi *et al*., 2020; Dzamic *et al*., 2013).

بیشتر زمین‌های حاصلخیز به تولید محصولات غذایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

اختصاص یافته و کشت گیاهان دارویی در این زمین‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، اراضی حاشیه‌ای، به‌ویژه آن‌هایی که تحت تأثیر تنش شوری قرار دارند، می‌توانند به کشت این گیاهان ارزشمند اختصاص یابند (Navarro-Torre *et al.*, 2023). این امر مستلزم استفاده از روش‌های نوین کشاورزی است که توانایی گیاهان را در مواجهه با عوامل تنش‌زای محیطی بهبود بخشد. با توجه به اینکه مطالعه‌ای مبنی بر کاربرد آلانتوئین در شرایط تنش شوری در گیاه زوفا انجام نشده است، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر افشانه برگی غلظت‌های مختلف آلانتوئین بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا در شرایط تنش شوری انجام شد. در راستای اهداف پژوهش، پارامترهای مختلفی از جمله برخی از شاخص‌های رشدی، محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدها، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای احیایی و پلی‌ساکاریدی، پرولین، پروتئین کل، آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه الزهرا تهران، با رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵، دمای روز ۲۷ درجه سانتی‌گراد و دمای شب ۱۹ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. نشا دو ماهه گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در اواخر شهریور از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی کرج و آلانتوئین از شرکت سیگما-آلدریچ تهیه شد. در تاریخ ۲۸ شهریورماه، نشاها به گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۱۹ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر منتقل شدند. بستر کشت گلدان‌ها شامل ترکیبی از پرلیت و پیت‌ماس به نسبت برابر بود. در هر گلدان، یک نشا کاشته شد. گیاهان سه بار در هفته با محلول غذایی نیم قدرت هوگلند (pH= ۶/۵) محلول‌دهی شدند. به منظور حفظ ذخیره آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان از زیر گلدانی‌های پلاستیکی استفاده شد و بستر هر هفت روز یک بار برای جلوگیری از تجمع نمک‌ها و ایجاد شوک اسمزی با آب غیرشور شست‌وشو داده شد تا تغییرات EC و pH به حداقل برسد. مطالعه حاضر به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش شوری حاصل از کلرید سدیم در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و آلانتوئین در سه سطح (صفر، ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار) بود. دو ماه پس از نگهداری گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای، سطوح مختلف تنش شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم اعمال گردید. برای جلوگیری از شوک اسمزی در بستر کشت، غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به تدریج به محلول غذایی نیم قدرت هوگلند افزوده شد. سه هفته پس از اعمال تنش شوری، افشانه برگی آلانتوئین در مرحله رشد رویشی در سه نوبت با فواصل زمانی هفت روزه تکرار شد. برای اجتناب از جذب تیمارهای آزمایشی توسط ریشه، سطح بستر با کیسه‌های پلاستیکی پوشانده شد. برداشت گیاهان در تاریخ ۱۹ دی‌ماه، دو هفته پس از آخرین افشانه برگی انجام شد و گیاهان هنگام برداشت در اوایل گلدهی بودند. بخشی از گیاهان برای اندازه‌گیری صفات رشدی، محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس کلروفیل و محتوای قندهای احیایی و پلی‌ساکاریدی اختصاص داده شد. سایر گیاهان بلافاصله در نیتروژن مایع قرار داده شده و برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی (از جمله درصد نشت یونی، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین محلول، پرولین، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل) در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

برای اندازه‌گیری طول شاخساره و ریشه از خط‌کش استفاده شد و نتایج به سانتی‌متر گزارش گردید. برای تعیین وزن تر، شاخساره و ریشه گیاه از محل طوقه جدا و با ترازوی حساس اندازه‌گیری شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، شاخساره و ریشه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن آن‌ها تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، چند دیسک برگی از گیاهان هر گلدان برداشت و وزن تر آن‌ها تعیین شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

سپس دیسک‌های برگی به مدت ۲۴ ساعت در آب دیونیزه قرار داده شدند تا به حالت تورژسانس کامل برسند و وزن تورگور آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید (Ritchie *et al.*, 1990). در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$RWC = \frac{\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}}{\text{وزن تورگور} - \text{وزن خشک}}$$

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) از دستگاه فلورومتر قابل حمل (PAM-2000, H Wals GmbH, Effeltrich, Germany) استفاده شد. یک برگ جوان و کاملاً توسعه‌یافته از هر گلدان انتخاب گردید. سپس برگ مورد نظر توسط فویل آلومینیومی به مدت ۲۰ دقیقه پوشانده و به تاریکی عادت داده شد. سپس برگ در گیره نگهدارنده (سنسور) دستگاه قرار داده شد و عدد فلورسانس کلروفیل بر روی صفحه نمایش نشان داده شد (Genty *et al.*, 1989).

برای اندازه‌گیری درصد نشت یونی (EL%)، برگ‌های تازه با آب‌مقطر شسته شدند و دیسک‌های برگی در فالکون‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر قرار داده شدند. سپس فالکون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط تاریک بر روی شیکر نگهداری شدند و هدایت الکتریکی (EC1) با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلا و با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و هدایت الکتریکی آن‌ها (EC2) اندازه‌گیری شد (Lutts *et al.*, 1996). درنهایت، با استفاده از رابطه زیر درصد نشت یونی محاسبه شد.

$$\text{نشت یونی}\ (\%) = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

به منظور اندازه‌گیری محتوای کلروفیل (Porra *et al.*, 1989) و کاروتنوئید (Holm, 1954)، ۰/۲ گرم بافت برگی با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به خوبی سائیده شد. سپس عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب روشناورها در طول‌موج ۴۴۰/۵، ۶۴۶/۶ و ۶۶۳/۶ نانومتر که بالاترین جذب کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید است، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CE 1021 ساخت کمپانی CECIL انگلستان) خوانده شد. برای تنظیم دستگاه اسپکتروفتومتر از استون ۸۰ درصد به عنوان شاهد استفاده شد و در نهایت محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید با استفاده از روابط زیر محاسبه شد. در روابط زیر A جذب خوانده شده، V حجم نهایی عصاره در استون ۸۰ درصد بر حسب میلی‌لیتر و W وزن نمونه برحسب گرم است.

$$\text{کلروفیل } a\ (\text{mg/g FW}) = ((12.25 \times A663.6) - (2.55 \times A646.6)) \times (\frac{V}{W})$$

$$\text{کلروفیل } b\ (\text{mg/g FW}) = ((20.31 \times A646.6) - (4.68 \times A663.6)) \times (\frac{V}{W})$$

$$\text{کلروفیل کل}\ (\text{mg/g FW}) = \text{کلروفیل } a + \text{کلروفیل } b$$

$$\text{کاروتنوئید کل}\ (\text{mg/g FW}) = ((4.69 \times A440.5) - (0.267 \times Total\ Chl)) \times (\frac{V}{W})$$

برای اندازه گیری پرولین، ۰/۱ گرم بافت برگ تازه با ۵ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد در هاون چینی به خوبی سائیده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۲ میلی‌لیتر روشناور با ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نین‌هیدرین (تهیه‌شده از ۱/۲۵ گرم نین‌هیدرین حل شده در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار) و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط گردید. سپس لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. برای خاتمه واکنش، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه روی یخ سرد شدند. سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه و نمونه‌ها به مدت ۱۵ ثانیه با دستگاه ورتکس مخلوط شدند. جذب فاز فوقانی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. محتوای پرولین با استفاده از منحنی استاندارد و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973).

برای اندازه‌گیری محتوای پروتئین، ۰/۲ گرم بافت برگی با نیتروژن مایع پودر گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات با اسیدیته ۶/۸ به پودر برگی اضافه و با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۲۰ میکرولیتر از عصاره استخراجی با یک میلی‌لیتر از محلول برادفورد مخلوط شده و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای رسم منحنی استاندارد از پروتئین گاما گلوبولین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

پلاسمای گاوی (Bovine serum albumin) استفاده شد و در نهایت محتوای پروتئین بر حسب میلی‌گرم بر گرم پروتئین بدست آمد (Bradford, 1976).

به منظور اندازه‌گیری محتوای قندهای احیایی، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شده و در هاون به خوبی سائیده شدند. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر حلال اتانول ۸۰ درصد به ۰/۰۵ گرم از پودر برگی اضافه شد و بعد از ۵۰ ثانیه ورتکس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. روشناورها به پتری‌دیش منتقل و تفاله‌های باقیمانده به منظور استخراج پلی‌ساکاریدها جمع‌آوری گردید. روشناورها پس از تبخیر در ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر گرم حل شده و به لوله‌های بلند منتقل گردید. به هر لوله ۲/۵ میلی‌لیتر باریم هیدروکسید ۰/۳ نرمال و ۱۰میلی‌لیتر محلول سولفات روی درصد اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از جداسازی روشناور فوقانی به رسوب باقی‌مانده ۸ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه و دوباره سانتریفیوژ شد. روشناورهای حاصل برای سنجش قندهای احیایی استفاده شد (Nelson, 1944). برای سنجش قندهای احیایی، یک میلی‌لیتر محلول کوئیوروسدیک به یک میلی‌لیتر عصاره اضافه شد و توسط ورتکس مخلوط شد. سپس لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفتند. پس از خنک‌شدن در دمای اتاق، به هر لوله یک میلی‌لیتر محلول آرسینومولیبدات اضافه شد و حجم نهایی با آب‌مقطر به ۱۲/۵ میلی‌لیتر رسید. سپس جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد با غلظت‌های مختلف گلوکز برحسب میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد و در نهایت محتوای قندهای احیایی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه گردید (Somogyi, 1952).

برای اندازه‌گیری قندهای پلی‌ساکاریدی، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به رسوب حاصل از سنجش قندهای محلول اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژشد و در نهایت به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره با ۱/۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر و یک میلی‌لیتر محلول فنل ۵ درصد به خوبی مخلوط شد. سپس ۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ به آن اضافه شد و پس از ۳۰ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد (Seyyednejad *et al.*, 2001). منحنی استاندارد با غلظت‌های مختلف گلوکز برحسب میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد و در نهایت محتوای قندهای پلی‌ساکاریدی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه گردید (Du Bois *et al.*, 1956).

به منظور اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین (Wagner, 1979)، نمونه‌های برگ ابتدا در هاون چینی با استفاده از متانول اسیدی (یک میلی‌لیتر اسید کلریدریک و ۹۹ میلی‌لیتر متانول خالص) به‌طور کامل سائیده شدند. عصاره به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس این عصاره به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب روشناور در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. ضریب خاموشی $M^{-1}cm^{-1}$ ۳۳۰۰۰ در نظر گرفته شد و محتوای آنتوسیانین با استفاده از رابطه $A= €bc$ محاسبه شد. در این رابطه A جذب خوانده‌شده، b عرض کووت، c غلظت محلول و € ضریب خاموشی است.

برای اندازه گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل از آزمون درصد تخریب رادیکال آزاد ۱و۱دی فنیل- ۲پیکریل هیدرازیل (DPPH) توسط عصاره گیاه استفاده گردید. برای عصاره‌گیری، ۰/۱ گرم بافت برگ خشک‌شده با ۲ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر قرار داده شد و مخلوط حاصل با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار به ۵۰ میکرولیتر عصاره متانولی برگ زوفا اضافه شد و به خوبی مخلوط گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و جذب آن‌ها در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Blois, 1958). اعداد به دست آمده از جذب نمونه‌ها برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل توسط رابطه زیر به درصد مهار رادیکال آزاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

DPPH تبدیل شد.

$$\text{فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (\%)} = \frac{(\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد})}{\text{جذب شاهد}} \times 100$$

بررسی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23 صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد و برای ترسیم اشکال از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشدی (طول و وزن تر و خشک شاخساره و ریشه): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری و آلانتوئین در سطح احتمال ۱ درصد بر طول و وزن تر و خشک شاخساره معنی‌دار است. درحالیکه اثر متقابل شوری و آلانتوئین بر طول و وزن تر و خشک شاخساره معنی‌دار نیست (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که سطوح مختلف شوری طول و وزن تر و خشک شاخساره گیاهان زوفا را کاهش معنی‌دار داد. به‌طوریکه کمترین طول و وزن تر و خشک شاخساره در گیاهان تحت تنش ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. افشانه آلانتوئین باعث افزایش طول و وزن تر و خشک شاخساره در مقایسه با گیاهان افشانه نشده گردید. به‌طوری‌که بیشترین طول و وزن تر و خشک شاخساره در گیاهان افشانه‌شده با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین ملاحظه شد که به ترتیب ۲۲/۹، ۱/۳۵ و ۳۶/۶ درصد نسبت به گیاهان افشانه‌نشده افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری وآلانتوئین بر طول و وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). ولی اثر متقابل شوری وآلانتوئین بر طول و وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که تنش شوری (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) باعث کاهش معنی‌دار طول و وزن تر و خشک ریشه شد. افشانه آلانتوئین باعث افزایش طول و وزن تر و خشک ریشه در مقایسه با گیاهان افشانه‌نشده شد. به‌طوری‌که بیشترین طول و وزن تر و خشک ریشه در گیاهان افشانه‌شده با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین گزارش شد که در مقایسه با گیاهان افشانه‌نشده به ترتیب ۱۷، ۳۳/۱۶ و ۲۹/۸۴ درصد افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۲).

محتوای نسبی آب برگ: اثرات ساده شوری و آلانتوئین و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همراه با افزایش غلظت کلرید سدیم محتوای نسبی آب برگ کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد یافت و کاهش حداکثری محتوای آن در تنش شوری شدید مشاهده شد. افشانه آلانتوئین بر گیاهان تحت تنش شوری باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد. در حالیکه افشانه آلانتوئین در شرایط بدون تنش تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد نداشت (شکل 1a).

فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm): نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری و آلانتوئین ($P\leq$۰/۰۱) و اثر متقابل آن‌ها ($P\leq$۰/۰۵) بر فلورسانس کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار فلورسانس کلروفیل نسبت به شاهد شد. افشانه آلانتوئین در سطوح مختلف شوری باعث افزایش فلورسانس کلروفیل نسبت به شاهد شد. بیشترین فلورسانس کلروفیل (۰/۷۶) در گیاهان افشانه‌شده با غلظت‌های ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار آلانتوئین در شرایط بدون تنش شوری و کمترین میزان آن (۰/۵۱) در گیاهان افشانه‌نشده در شرایط تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل 1b).

درصد نشت یونی (EL%): اثرات ساده شوری و آلانتوئین ($P\leq$۰/۰۱) و اثر متقابل آن‌ها ($P\leq$۰/۰۵) بر درصد نشت یونی معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد نشت یونی در گیاهان تحت تنش شوری نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافت و بیشترین درصد نشت یونی در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد که در مقایسه با گیاهان شاهد، ۲/۹ برابر افزایش معنی‌دار داشت. افشانه آلانتوئین در شرایط تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار درصد نشت یونی در مقایسه با شاهد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر افشانه برگی آلانتوئین بر شاخص‌های رشدی، فلورسانس کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ در زوفا تحت تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		طول شاخساره	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	فلورسانس کلروفیل	محتوای نسبی آب برگ
شوری	۲	۳۷۳/۹**	۸۶۷/۱۱**	۲۶/۶**	۷۹۶/۳**	۳۹/۲۶۱**	۱/۶۴**	۰/۰۵۴**	۴۴۸/۵۷**
آلانتوئین	۲	۱۳۷/۷**	۳۸۶/۳۵**	۱۱/۱۱**	۱۶۲/۳**	۳۳/۳۴**	۰/۷۴۲**	۰/۰۲**	۲۵۲/۱۵**
شوری × آلانتوئین	۴	۰/۵۶^{ns}	۱/۰۹^{ns}	۰/۰۴۶^{ns}	۶/۷^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۲*	۶۶/۲۱۹**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۱۱/۹	۱۱/۶۱	۰/۲۳۳	۶/۳۴	۰/۹۳	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۵/۷۴
ضریب تغییرات (٪)		۶/۵۳	۷/۶۸	۶/۷	۶/۱۸	۱۰/۰۵	۶/۵	۴/۶۵	۳/۲۷

ns، * و ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرهای شوری و آلانتوئین بر شاخص‌های رشدی گیاه زوفا

تیمار	طول ساقه	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
شوری (میلی‌مولار)						
صفر	۴۶/۹ ± ۱/۲^{a}	۵۴/۵۴ ± ۲/۱^{a}	۸/۹۶ ± ۰/۳۸^{a}	۶۲/۱۷ ± ۱/۴^{a}	۱۱/۸۲ ± ۰/۵۹^{a}	۲/۶۳ ± ۰/۱۰۶^{a}
۱۰۰	۴۱ ± ۱/۶۷^{b}	۴۳/۶ ± ۲/۲۴^{b}	۷/۰۸ ± ۰/۳۳^{b}	۵۲/۹۳ ± ۱/۸۱^{b}	۹/۳ ± ۰/۴۵^{b}	۲/۱ ± ۰/۰۹۳^{b}
۲۰۰	±۰۱/۳۴ ۱/۳۹^{c}	۳۴/۹۶ ± ۱/۹۱^{c}	۵/۵۲ ± ۰/۳۲^{c}	۴۳/۳۶ ± ۱/۵۹^{c}	۷/۶۷ ± ۰/۳۸^{c}	۱/۷۸ ± ۰/۰۷^{b}
آلانتوئین (میلی‌مولار)						
صفر	۳۶/۶۸ ± ۲^{c}	۳۷/۴۲ ± ۲/۸^{c}	۶ ± ۰/۴۷^{c}	۴۸/۰۵ ± ۳/۰۲^{b}	۸/۲ ± ۰/۵۳^{c}	۱/۹۱ ± ۰/۱۱^{c}
۰/۱	۴۴/۵ ± ۲^{a}	۵۰/۴۴ ± ۳/۱^{a}	۸/۲۲۱ ± ۰/۵۶^{a}	۵۶/۱۹ ± ۲/۵۲^{a}	۱۰/۹۲ ± ۰/۷۶^{a}	۲/۴۸ ± ۰/۱۴^{a}
۱	±۸۵/۴۰ ۲/۱۴^{b}	۴۵/۲۵ ± ۳/۰۹^{b}	۷/۳۴ ± ۰/۵۱^{b}	۵۴/۲۳ ± ۳/۱۵^{a}	۹/۶ ± ۰/۶۸^{b}	۲/۲۲ ± ۰/۱۳^{b}

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

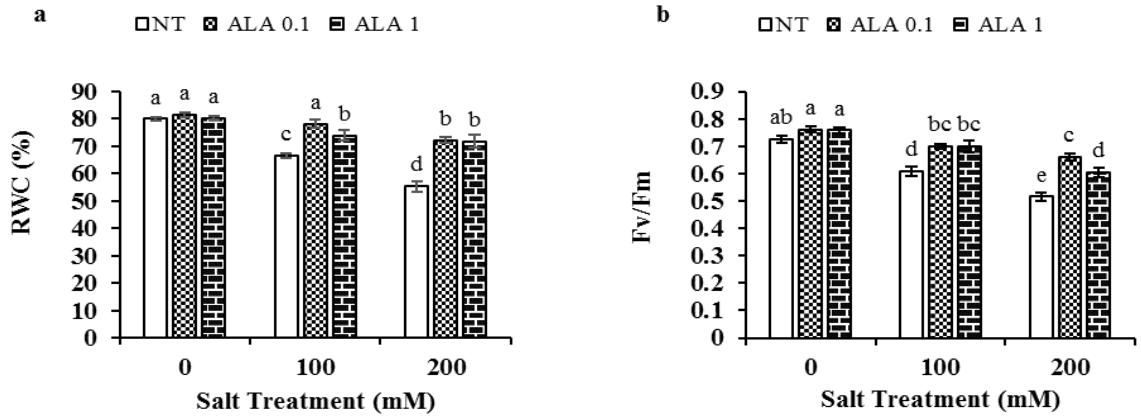
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر افشانه برگی آلانتوئین بر درصد نشت یونی، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید در زوفا تحت تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		نشت یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
شوری	۲	۵۳۴/۸۶۱**	۱/۵۳**	۰/۲۵۷**	۰/۰۲۹**	۰/۰۵۹**
آلانتوئین	۲	۴۱۹/۳۸**	۰/۹۰۸**	۰/۳۶۹**	۰/۰۲۴**	۰/۲۱۴**
شوری × آلانتوئین	۴	۹۵/۴۲*	۰/۰۳۳*	۰/۰۲۸**	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۴^{ns}
اشتباه آزمایشی	۱۸	۴/۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۳۷	۵/۶۱	۷/۲۹	۴/۳۴	۵/۷۴

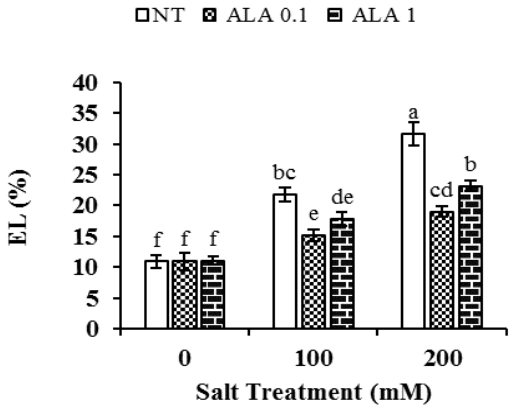
ns، * و ** بترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و آلانتوئین بر (a) محتوای نسبی آب برگ و (b) فلورسانس کلروفیل گیاه زوفا. در هر ستون (میانگین حاصل از سه تکرار)، حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.

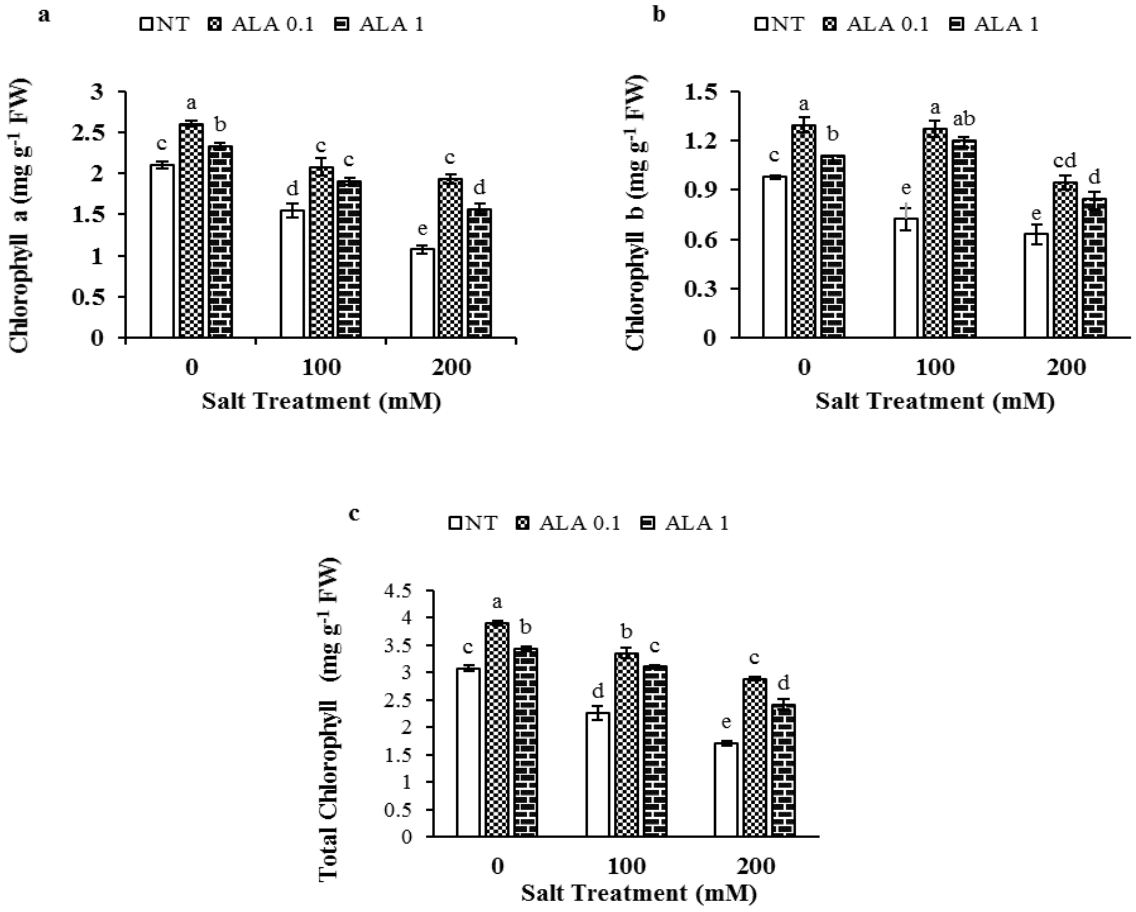


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و آلانتوئین بر درصد نشت یونی گیاه زوفا. در هر ستون (میانگین حاصل از سه تکرار)، حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.

شد. به‌طوری‌که درصد نشت یونی با افشانه غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۳۰/۴ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار یافت (شکل ۲).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری وآلانتوئین در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود. با این حال، اثر متقابل شوری وآلانتوئین بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده و بر محتوای کارتنوئید معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش شوری منجر به کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. به‌طوری‌که در تنش ۲۰۰ مولار شوری کمترین محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل ملاحظه شد که به ترتیب ۴۸، ۳۵/۶۷ و ۴۴/۶۴ درصد نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشت. افشانه آلانتوئین در تمام سطوح شوری باعث افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نسبت به شاهد داشت. به‌طوریکه بیشترین محتوای کلروفیل a،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و آلانتوئین بر محتوای (a) کلروفیل a، (b) کلروفیل b و (c) کلروفیل کل. در هر ستون (میانگین حاصل از سه تکرار)، حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.

کلروفیل b و کلروفیل کل با افشانه غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در شرایط بدون تنش شوری ثبت شد که به ترتیب ۲۴/۴، ۳۲/۳۲ و ۲۶/۶۷ درصد نسبت به شاهد فزایش معنی‌دار داشت (شکل ۳a-c).

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده شوری و آلانتوئین نشان داد که محتوای کارتنوئید با افزایش سطح شوری نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافت و بیشترین کاهش محتوای آن در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد که ۲۰/۵۴ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل ۴a). افشانه آلانتوئین باعث افزایش محتوای کارتنوئید شد و بیشترین محتوای کارتنوئید با افشانه غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین به‌دست آمد که ۵۲/۶ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به گیاهان افشانه‌نشده داشت (شکل ۴b).

پروتئین کل: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری و آلانتوئین و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای پروتئین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

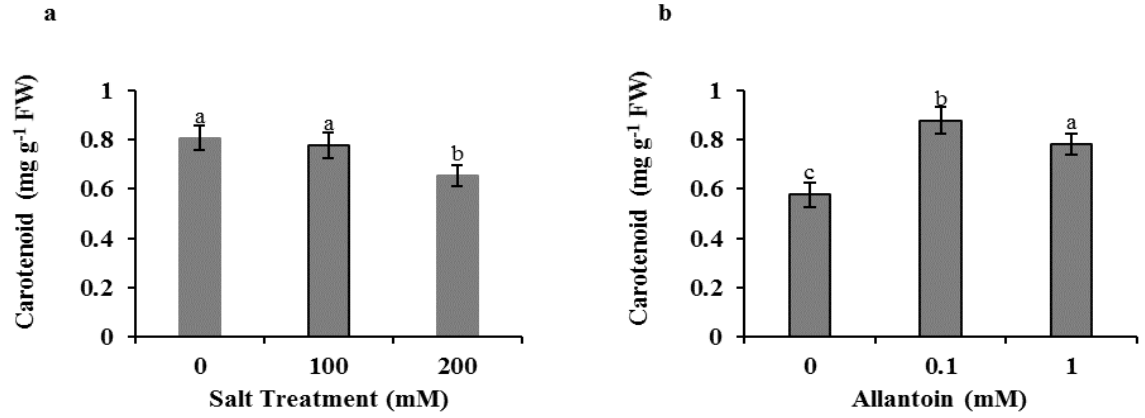
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که محتوای پروتئین در تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۷/۵ و ۲۷/۵۸ درصد نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار یافت. افشانه آلانتوئین در تمام سطوح شوری باعث افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین نسبت به شاهد شد. به‌طوری‌که محتوای پروتئین در گیاهان افشانه شده با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۷۲/۷۹ و ۷۰/۴۷ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار پیدا کرد (شکل ۵a).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر افشانه برگی آلانتوئین بر محتوای پروتئین کل، پرولین، قندهای احیایی، قندهای پلی ساکاریدی، آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در زوفا تحت تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پروتئین کل	پرولین	قندهای احیایی	قندهای پلی‌ساکاریدی	آنتوسیانین	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل
شوری	۲	۰/۰۶۲**	۱۸۲/۷۱۵**	۹۸/۶۸**	۱۷۱/۵۰۷**	۱/۱۵۷**	۲۳۶/۴۷۱**
آلانتوئین	۲	۰/۴۹۹**	۱۹/۸۶۷**	۲۲/۱۳**	۱۶۸/۴۰۶**	۰/۶۳۶**	۷۷/۰۵۲**
شوری× آلانتوئین	۴	۰/۰۳۱**	۳/۲۶۸*	۳/۹۷*	۷/۹۷۷*	۰/۰۶۶*	۱۸/۴۶۵*
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۰۰۳	۱/۱۳۵	۱/۴۲	۲/۷۸۷	۰/۰۱۹	۶/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۴/۹۵	۶/۵۲	۷/۶۱	۴/۶۵	۶/۳۲	۳/۵۵

ns، * و ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

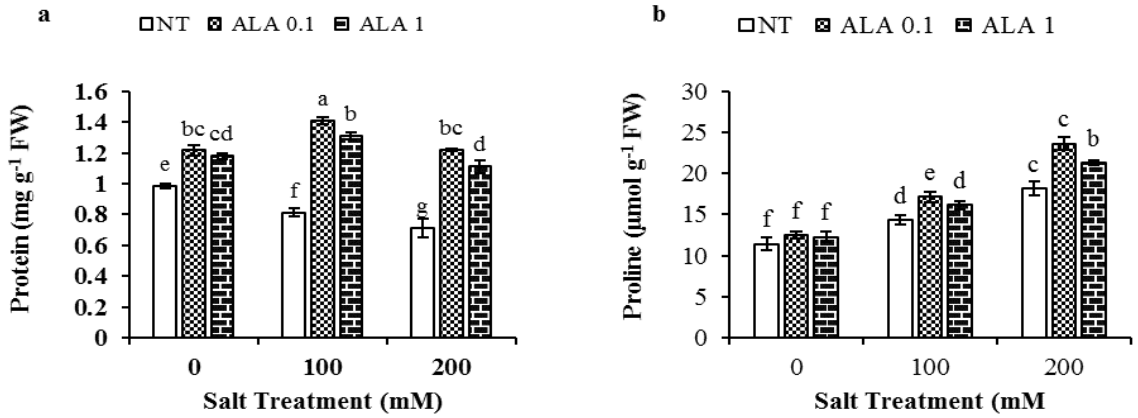


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر (a) شوری و (b) آلانتوئین بر محتوای کارتنوئید. در هر ستون (میانگین حاصل از سه تکرار)، حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.

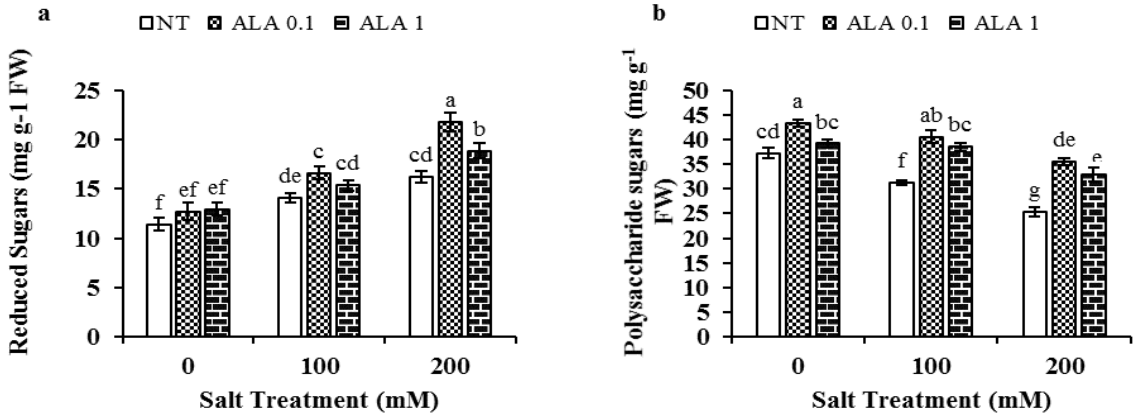
پرولین: مطابق با نتایج آنالیز واریانس اثرات ساده شوری و آلانتوئین (P≥۰/۰۱) و اثر متقابل آن‌ها (P≥۰/۰۵) بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۴). محتوای پرولین در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری به ترتیب ۲۵/۱۲ و ۵۸/۸۳ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشت. افشانه گیاهان تحت تنش شوری با آلانتوئین باعث افزایش معنی‌دار محتوای پرولین در مقایسه با گیاهان شاهد شد. بیشترین محتوای پرولین در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری ملاحظه شد که نسبت به شاهد، ۳۰/۱۷ درصد افزایش معنی‌دار داشت (شکل 5b).

قندهای احیایی و پلی‌ساکاریدی: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری و آلانتوئین (P≥۰/۰۱) و اثر متقابل آن‌ها (P≥۰/۰۵) بر محتوای قندهای احیایی و پلی‌ساکاریدی معنی‌دار بود (جدول ۴). محتوای قندهای احیایی در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب ۲۳/۶۱ و ۴۲/۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافت. افشانه آلانتوئین در تمامی سطوح شوری، محتوای قندهای احیایی را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین محتوای قندهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و آلانتوئین بر محتوای (a) پروتئین و (b) پرولین گیاه زوفا. در هر ستون (میانگین حاصل از سه تکرار)، حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.



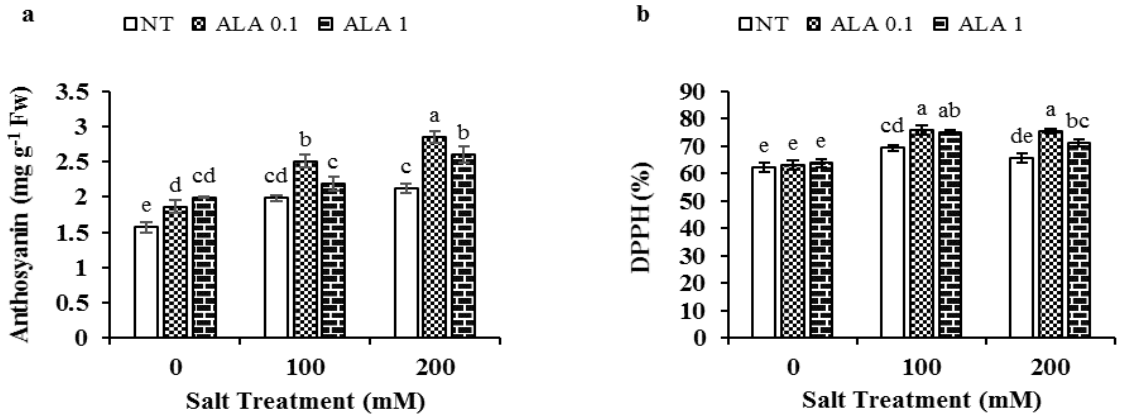
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و آلانتوئین بر محتوای (a) قندهای احیایی و (b) قندهای پلی‌ساکاریدی گیاه زوفا. در هر ستون (میانگین حاصل از سه تکرار)، حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.

احیایی در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده گردید که نسبت به شاهد، ۳۴/۴۴ درصد افزایش داشت (شکل 6a).

محتوای قندهای پلی‌ساکاریدی با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین محتوای آن در تنش شوری بالا (۲۰۰ میلی‌مولار) مشاهده شد که در مقایسه با شاهد، ۳۹ درصد کاهش معنی‌دار داشت. محتوای قندهای پلی‌ساکاریدی با افشانه آلانتوئین در تمام سطوح شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. به‌طوریکه گیاهان افشانه‌شده با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در شرایط بدون تنش بیشترین محتوای قندهای پلی‌ساکاریدی را داشتند که این افزایش نسبت به شاهد، ۱۶/۲ درصد بود (شکل 6b).

آنتوسیانین: بر اساس نتایج آنالیز واریانس اثرات ساده شوری و آلانتوئین ($P\leq$۰/۰۱) و اثر متقابل آن‌ها ($P\leq$۰/۰۵) بر محتوای آنتوسیانین معنی‌دار بود (جدول ۴). محتوای آنتوسیانین در اثر تنش شوری نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. افشانه آلانتوئین در تمامی سطوح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و آلانتوئین بر (a) محتوای آنتوسیانین و (b) فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (DPPH) گیاه زوفا. در هر ستون (میانگین حاصل از سه تکرار)، حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.

شوری باعث افزایش محتوای آنتوسیانین شد. به‌طوری‌که بیشترین محتوای آنتوسیانین در گیاهان افشانه‌شده با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد، که نسبت به گیاهان شاهد ۳۵/۵۵ درصد افزایش داشت (شکل ۷a).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (DPPH): نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری و آلانتوئین ($P \geq ۰/۰۱$) و اثر متقابل آن‌ها ($P \geq ۰/۰۵$) بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل معنی‌دار بود (جدول ۴). سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل را به ترتیب ۱۱/۴۶ و ۵/۳۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. افشانه آلانتوئین در تمامی سطوح شوری باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل شد. به‌طوری‌که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل با افشانه غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد که نسبت به شاهد ۹/۵ درصد افزایش معنی‌دار داشت (شکل ۷b).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شاخص‌های رشدی گیاه زوفا با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. در چند دهه اخیر مطالعات متعددی گزارش کرده‌اند که رشد بسیاری از گیاهان ازجمله زوفا تحت تنش شوری کاهش می‌یابد (Jahantigh *et al*., 2016). کاهش دسترسی ریشه‌ها به آب، بر هم خوردن توازن عناصر غذایی، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی از جمله عوامل مهمی است که رشد گیاهان را در محیط‌های شور با مشکل مواجه می‌کند. علاوه بر این گیاهان با بستن روزنه‌ها، کاهش تقسیم و گسترش سلولی و کاهش انتقال تعدادی از هورمون‌ها مانند سیتوکنین به تنش شوری پاسخ می‌دهند و این سازوکارها در نهایت منجر به کاهش رشد می‌شوند (Arif *et al*., 2020). همچنین پراکسیداسیون لیپیدهای غشا کلروپلاست‌ها سبب مختل‌شدن فتوسنتز و کاهش زیست‌توده گیاهان می‌شود. افشانه برگی آلانتوئین سبب افزایش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش شوری شد و اثرات مخرب شوری را تعدیل کرد. مطالعات انجام‌شده بر گیاه چغندرقند نشان داد که آلانتوئین با افزایش ترشح هورمون‌هایی مانند ایندول استیک اسید، سیتوکینین و جیبرلین باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه در شرایط تنش شوری شد (Yu *et al*., 2024). در مطالعه‌ای دیگر، تیمار گیاهان آرابیدوپسیس و کلزا با آلانتوئین از طریق کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش حفاظت از غشاهای سلولی سبب افزایش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش شد (Raihan *et al*., 2023; Liu *et al*., 2020).

فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) یک شاخص حساس به تنش‌های محیطی است و یک معیار مناسب جهت بیان و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

برآورد راندمان فتوشیمیایی فتوسیستم II است. مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که کارایی فتوسیستم II، زنجیره انتقال الکترون و میزان جذب CO_2 در بسیاری از گیاهان در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد (Stepien and Klobus, 2005). نتایج حاضر نشان داد که تنش شوری سبب کاهش فلورسانس کلروفیل گیاهان زوفا شد. مقادیر بالای فلورسانس کلروفیل در اثر تیمار با آلانتوئین نشان‌دهنده این امر است که آلانتوئین می‌تواند اثرات مضر شوری بر فتوسیستم II را کاهش دهد (Liu *et al*., 2020).

افزایش میزان تعرق در شرایط تنش شوری منجر به اختلال در تعادل آبی گیاه وکاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Arif *et al*., 2020). در این مطالعه تنش شوری سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ گردید. گزارش شده است که کاربرد آلانتوئین در شرایط تنش خشکی با مهار گونه‌های فعال اکسیژن، تجمع پرولین و حفظ پایداری غشا سبب افزایش محتوای نسبی آب گیاهان کلزا شد که مطابق با نتایج مطالعه حاضر است (Raihan *et al*., 2023).

مطالعات انجام‌شده توسط Jahantigh و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که محتوای کلروفیل و کاروتنوئید گیاهان زوفا در اثر تنش شوری کاهش می‌یابد که مطابق با نتایج مطالعه حاضر است. مطالعات مختلف نشان داده است که کاهش کلروفیل عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، تخریب پیش‌ماده‌های کلروفیل و یا ممانعت از بیوسنتز کلروفیل است (Arif *et al*., 2020). مطالعات انجام‌شده بر کلزا نشان داد که کاربرد آلانتوئین باعث افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی شد که مطابق با بررسی حاضر است. به نظر می‌رسد آلانتوئین با مهار گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش جذب و انتقال سدیم و محافظت از آنزیم‌های کلروپلاستی مانند روبیسکو باعث افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌شود (Liu *et al*., 2020).

با توجه به نقش حیاتی غشاها در تنظیم متابولیسم سلول و عملکرد اندامک‌ها، نشت الکترولیت‌ها به‌عنوان شاخصی برای سنجش آسیب به غشاهای زیستی استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر، تنش شوری به طور قابل توجهی باعث افزایش نشت یونی شد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که تنش شوری با تولید گونه‌های فعال اکسیژن باعث اختلال در عملکرد و ساختار غشاهای سلولی شده و نشت مواد سیتوپلاسمی را افزایش می‌دهد (Munns and Tester, 2008). آسیب به غشا و افزایش نشت یونی در گیاه زوفا در شرایط تنش شوری گزارش شده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (Jahantigh *et al*., 2016). با توجه به نتایج این بررسی به نظر می‌رسد آلانتوئین با افزایش ترکیبات دفاعی مانند آنتوسیانین‌ها، قندهای احیایی، پروتئین‌ها و پرولین باعث مهار گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش آسیب به غشای پلاسمایی می‌شود (Kaur *et al*., 2023).

تنش‌هایی نظیر خشکی و شوری باعث اختلال در وضعیت آبی گیاه و بروز تنش اسمزی می‌شوند. گیاهان برای مقابله با این تنش‌ها از سازوکارهای مختلفی استفاده می‌کنند. یکی از این سازوکارهای کلیدی، افزایش چشمگیر اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین، پروتئین‌های محلول، سایر اسیدهای آمینه و قندهای احیایی است که به حفظ تعادل اسمزی کمک می‌کنند. مطابق با بررسی حاضر، کاهش محتوای پروتئین محلول در اثر تنش شوری در گیاه پسته (Kamiab *et al*., 2014) و ماش (Rahman *et al*., 2019) گزارش شده است. کاهش محتوای پروتئین تحت شرایط تنش شوری می‌تواند ناشی از واکنش پروتئین‌ها با رادیکال‌های آزاد، کاهش زیرواحدهای آنزیم روبیسکو، افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز و کاهش سنتز پروتئین باشد. اسیدهای آمینه حاصل از فعالیت بالای پروتئازها در تنظیم اسیدیته سلول، ذخیره‌سازی نیتروژن، حفاظت از ماکرومولکول‌های سلولی، تنظیم اسمزی، سم‌زدایی و مهار رادیکال‌های آزاد نقش دارند (Arif *et al*., 2020; Parida *et al*., 2004). به نظر می‌رسد که آلانتوئین به‌طور غیرمستقیم و توسط افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند قندهای احیایی و آنتوسیانین باعث کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش محتوای پروتئین می‌شود. همچنین،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

محتوای پروتئین ارتباط مستقیمی با سطح نیتروژن گیاه دارد و احتمالاً آلانتوئین با افزایش محتوای نیتروژن، موجب تجمع پروتئین در سطوح مختلف شوری (۲۰۰-۰ میلی‌مولار) می‌شود (Kaur *et al*., 2023).

پرولین یکی از اسیدهای آمینه مهم است که نقش اساسی در پاسخ به تنش شوری دارد و افزایش آن در شرایط تنش شوری در مطالعات متعددی گزارش شده است. پرولین با تنظیم فشار اسمزی، به حفظ تعادل آبی سلول‌ها در شرایط تنش شوری کمک می‌کند. علاوه بر این پرولین توانایی مهار گونه‌های فعال اکسیژن را دارد و به عنوان یک چاپرون مولکولی از ساختارهای مختلف پروتئین‌ها محافظت می‌کند (Al-Zahrani *et al*., 2021; Arif *et al*., 2020). مطالعات انجام شده بر گیاه آرابیدوپسیس نشان داد که آلانتوئین باعث افزایش قابل توجه محتوای پرولین در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد شد، که با نتایج بررسی حاضر همخوانی دارد (Irani and Todd, 2018).

تجزیه پلی‌ساکاریدها در شرایط تنش اسمزی افزایش می‌یابد که منجر به تجمع بیشتر قندهای محلول و احیایی می‌شود (Liang *et al*., 2021). قندهای احیایی علاوه بر حفظ تعادل اسمزی، با سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن از یکپارچگی غشاهای زیستی حفاظت کرده و مانع از تجمع و دناتوره‌شدن پروتئین‌ها می‌شوند (Arif *et al*., 2020; Munns and Tester, 2008; Raihan *et al*., 2023). در مطالعه حاضر، تأثیر آلانتوئین بر افزایش قندهای احیایی و پلی‌ساکاریدی در گیاه زوفا می‌تواند به دلیل نقش مثبت آلانتوئین در بهبود ساختار و عملکرد سیستم فتوسنتزی در شرایط تنش شوری باشد (Yu *et al*., 2024).

نتایج حاضر نشان داد که محتوای آنتوسیانین با افزایش شوری روند افزایشی داشت. افزایش محتوای آنتوسیانین در شرایط تنش شوری در زوفا (Jahantigh *et al*., 2016) و بادرنجبویه (Hawrylak-Nowak *et al*., 2021) گزارش شده است. آنتوسیانین از جمله ترکیبات فنلی است، که در پاسخ به تنش اکسیداتیو تجمع می‌یابد. این ترکیب با خاصیت آنتی‌اکسیدانی از گیاه در برابر گونه‌های فعال اکسیژن حفاظت می‌کند. همچنین آنتوسیانین با کاهش پتانسیل اسمزی می‌تواند وضعیت آبی گیاه را در شرایط تنش اسمزی بهبود دهد (Chalker-Scott 2002; Landi *et al*., 2015). آلانتوئین در تمامی سطوح شوری باعث افزایش محتوای آنتوسیانین شد. بر اساس نتایج مربوط به محتوای نسبی آب برگ و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، به نظر می‌رسد که آنتوسیانین با تعدیل گونه‌های فعال اکسیژن و کمک به تنظیم اسمزی گیاه اثرات مخرب تنش شوری را کاهش داد (Kaur *et al*., 2023).

مهار رادیکال آزاد DPPH به عنوان یک روش متداول برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان دارویی و معطر استفاده می‌شود و ظرفیت گیاهان را برای مقابله با تنش نشان می‌دهد (Krishnaiah *et al*., 2011). مطالعه انجام‌شده بر گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) نشان داد که تنش شوری با افزایش محتوای آنتوسیانین سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (Hezaveh *et al*., 2020). همچنین افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه ماش (Al-Zahrani *et al*., 2021) و بادرشبو (Hawrylak-Nowak *et al*., 2021) درشرایط تنش شوری گزارش شده است. به نظر می‌رسد که آلانتوئین به‌طور غیرمستقیم و از طریق افزایش ترکیبات فنلی مانند آنتوسیانین، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده نشان داد که تنش شوری باعث کاهش شاخص‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس کلروفیل در گیاهان زوفا شد. در مقابل، محتوای قندهای احیایی، پرولین، آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل افزایش یافت که نوعی سازگاری گیاه با شرایط تنش محسوب می‌شود. تیمار گیاهان تحت تنش شوری با آلانتوئین (۰/۱ و ۱ میلی‌مولار) با افزایش محتوای قندهای احیایی، پرولین، پروتئین‌های محلول و آنتوسیانین سبب کاهش نشت یونی، بهبود توان آنتی‌اکسیدانی، افزایش محتوای نسبی آب برگ و ممانعت از تخریب رنگیزه‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

فتوسنتزی گردید. با توجه به اینکه آلانتوئین یک ماده سازگار با محیط‌زیست است، می‌توان از آن به‌عنوان یک راهکار مؤثر و مفید برای افزایش تحمل گونه دارویی مهم زوفا در شرایط تنش شوری بهره گرفت. برای تأیید این نتایج، تحقیقات بیشتر در شرایط مزرعه ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

Ahmadi, H., Babalar, M., Sarcheshmeh, M. A. A., Morshedloo, M. R., & Shokrpour, M. (2020). Effects of exogenous application of citrulline on prolonged water stress damages in hyssop (*Hyssopus officinalis* L.): Antioxidant activity, biochemical indices, and essential oils profile. *Food Chemistry*, *333*, 127433. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127433

Al-Zahrani, H. S., Alharby, H. F., Hakeem, K. R., & Rehman, R. U. (2021). Exogenous application of zinc to mitigate the salt stress in *Vigna radiata* (L.) Wilczek—Evaluation of physiological and biochemical processes. *Plants*, *10*(5), 1005. https://doi.org/10.3390/plants10051005

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, *156*, 64-77. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042

Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*, *12*(12), 2253. https://doi.org/10.3390/plants12122253

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, *181*(4617), 1199-1200. https://doi.org/10.1038/1811199a0

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207. https://doi.org/10.1007/bf00018060

Chalker-Scott, L. (2002). Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Advances in Botanical Research*, 103-127. https://doi.org/10.1016/s0065-2296(02)37046-0

Chowrasia, S., Nishad, J., Mahato, R., Kiran, K., Rajkumari, N., Panda, A. K., Rawal, H. C., Barman, M., & Mondal, T. K. (2023). Allantoin improves salinity tolerance in Arabidopsis and rice through synergid activation of abscisic acid and brassinosteroid biosynthesis. *Plant Molecular Biology*, *112*(3), 143-160. https://doi.org/10.1007/s11103-023-01350-8

Du Bois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, *28*(3), 350-356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017

Dzamic, A. M., Sokovic, M. D., Novakovic, M., Jadranin, M., Ristic, M. S., Tesevic, V., & Marin, P. D. (2013). Composition, antifungal and antioxidant properties of *Hyssopus officinalis* L. subsp. pilifer (Pant.) Murb. essential oil and deodorized extracts. *Industrial Crops and Products*, *51*, 401-407. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.038

Fathiazad, F., Mazandarani, M., & Hamedeyazdan, S. (2011). Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Hyssopus officinalis* L. from Iran. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, *6*(1), 131-136. https://doi.org/10.15171/apb.2016.019

FAO. (2021). Global Map of Salt-Affected Soils (GSASmap). Retrieved from https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/

Genty, B., Briantais, J. M., & Baker, N. R. (1989). The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, *990*(1), 87-92. https://doi.org/10.1016/s0304-4165(89)80016-9

Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., Stasinska-Jakubas, M., Wojciak, M., Sowa, I., & Matraszek-Gawron, R. (2021). NaCl-induced elicitation alters physiology and increases accumulation of phenolic compounds in *Melissa officinalis* L. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(13), 6844. https://doi.org/10.3390/ijms22136844. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2962123/v1

Hezaveh, T. A., Rahmani, F., Alipour, H., & Pourakbar, L. (2020). Effects of foliar application of ZnO nanoparticles on secondary metabolite and micro-elements of camelina (*Camelina sativa* L.) under salinity stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *16*(4), 54-69.

Holm, G. (1954). Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agriculturae Scandinavica*, *4*(1), 457-471. https://doi.org/10.1080/00015125409439955

Irani, S, & Todd, C. D. (2018). Exogenous allantoin increases Arabidopsis seedlings tolerance to NaCl stress and regulates expression of oxidative stress response genes. *Journal of Plant Physiology*, *221*, 43-50. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.011

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

Jahantigh, O., Najafi, F., Badi, H. N., Khavari-Nejad, R. A., & Sanjarian, F. (2016). Changes in antioxidant enzymes activities and proline, total phenol and anthocyanin contents in *Hyssopus officinalis* L. plants under salt stress. *Acta Biologica Hungarica, 67*(2), 195-204. https://doi.org/10.1556/018.67.2016.2.7

Kamiab, F., Talaie, A., Khezri, M., & Javanshah, A. (2014). Exogenous application of free polyamines enhances salt tolerance of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. *Plant Growth Regulation, 72*(3), 257-268. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9857-9

Kaur, R., Chandra, J., Varghese, B., & Keshavkant, S. (2023). Allantoin: A potential compound for the mitigation of adverse effects of abiotic stresses in plants. *Plants, 12*(17), 3059. https://doi.org/10.3390/plants12173059

Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2011). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and Bioproducts Processing, 89*(3), 217-233. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.04.008

Landi, M., Tattini, M., & Gould, K. S. (2015). Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environmental and Experimental Botany, 119*, 4-17. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.012

Liang, Y., Wei, G., Ning, K., Li, M., Zhang, G., Luo, L., Zhao, G., Wei, J., Liu, Y., & Dong, L. (2021). Increase in carbohydrate content and variation in microbiome are related to the drought tolerance of *Codonopsis pilosula*. *Plant Physiology and Biochemistry, 165*, 19-35. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.004

Liu, L., Liu, D., Wang, Z., Zou, C., Wang, B., Zhang, H., Gai, Z., Zhang, P., Wang, Y., & Li, C. (2020). Exogenous allantoin improves the salt tolerance of sugar beet by increasing putrescine metabolism and antioxidant activities. *Plant Physiology and Biochemistry, 154*, 699-713. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.034

Lutts, S., Kinet, J., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany, 78*(3), 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134

Munns, R, & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59*, 651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Nelson, N. (1944). A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry, 153*(2), 375-380. https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)71980-7

Navarro-Torre, S., Garcia-Caparros, P., Nogales, A., Abreu, M. M., Santos, E., Cortinhas, A. L., & Caperta, A. D. (2023). Sustainable agricultural management of saline soils in arid and semi-arid Mediterranean regions through halophytes, microbial and soil-based technologies. *Environmental and Experimental Botany, 212*, 105397. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105397

Parida, A. K., Das, A. B., Mittra, B., & Mohanty, P. (2004). Salt-stress induced alterations in protein profile and protease activity in the mangrove *Bruguiera parviflora*. *Zeitschrift fur Naturforschung C, 59*(5-6), 408-414. https://doi.org/10.1515/znc-2004-5-622

Porra, R. J., Thompson, W. A., & Kriedemann, P. E. (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: Verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics, 975*(3), 384-394. https://doi.org/10.1016/s0005-2728(89)80347-0

Rahman, M. M., Mostofa, M. G., Rahman, M. A., Islam, M. R., Keya, S. S., Das, A. K., ... & Tran, L. S. P. (2019). Acetic acid: A cost-effective agent for mitigation of seawater-induced salt toxicity in mung bean. Scientific reports, *9*(1), 15186. https://doi.org/10.1038/s41598-019-51178-w

Raihan, M. R. H., Rahman, M., Rastogi, A., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2023). Exogenous allantoin confers rapeseed (*Brassica campestris*) tolerance to simulated drought by improving antioxidant metabolism and physiology. *Antioxidants, 12*(8), 1508. https://doi.org/10.3390/antiox12081508

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science, 30*(1), 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183x003000010025x

Seyyednejad, M., Ebrahimzadeh, H., & Talaie, A. (2001). Carbohydrate content in olive Zard cv and alternate bearing pattern. *International Sugar Journal, 103*(1226), 84-87. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2744.2747

Skrypnik, L., Feduraev, P., Golubkina, N., Maslennikov, P., Antipina, M., Katserov, D., Murariu, O. C., Tallarita, A. V., & Caruso, G. (2024). Foliar spraying of selenium in inorganic and organic forms stimulates plant growth and secondary metabolism of sage (*Salvia officinalis* L.) through alterations in photosynthesis and primary metabolism. *Scientia Horticulturae, 338*, 113633. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113633

Somogyi, M. (1952). Notes on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry, 195*(1), 19-23. https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)50870-7

Stepien, P, & Klobus, G. (2005). Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stress. *Physiologia Plantarum, 125*(1), 31-40. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00534.x

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology, 64*(1), 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88

Werner, A. K, & Witte, C. P. (2011). The biochemistry of nitrogen mobilization: Purine ring catabolism. *Trends in Plant Science, 16*(8), 381-387. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.011

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

Yu, X. R., Zhao, J. N., Zhuang, Y. L., Zhao, L. H., Wang, C., Yang, X. F., Wang, Y. B., & Li, C. F. (2024). Effects of spraying allantoin at different stages on inorganic nitrogen assimilation, endogenous hormones, yield. https://doi.org/10.1007/s12355-024-01420-1

Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation, 1*(1). https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]

Effect of allantoin on some morphological and physiological traits of hyssop (*Hyssopus Officinalis* L.) under salt stress and hydroponic cultivation

Niloofar Mostafavi, Khadijeh Kiarostami*, Mona Sorahinobar

Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran
(Received: 2024/10/19, Accepted: 2025/01/21)

Abstract

Given the limited availability of arable land and the prioritization of food crops, cultivating medicinal plants on saline soils presents a viable alternative. To investigate allantoin's influence on hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) growth and physiology under salt stress, a factorial experiment was conducted in hydroponic systems at Al-Zahra University. The treatments consisted of three salinity levels (0, 100, and 200 mM sodium chloride) and three allantoin levels (0, 0.1, and 1 mM). Salinity, especially at 200 mM, significantly reduced shoot dry weight (41.52%), relative leaf water content (30.83%), chlorophyll fluorescence (29%), total chlorophyll (43.5%), protein (27%), and polysaccharide sugar (32%) contents compared to the control. Ion leakage (2.9-fold) and proline content (1.6-fold) increased under stress conditions compared to the control. Application of 0.1 and 1 mM allantoin at different salinity levels improved some physiological characteristics compared to the control. In particular, 0.1 mM allantoin concentration under 200 mM salinity stress significantly mitigated ion leakage (40.20%) and increased total chlorophyll content (65.8%), relative leaf water content (30.52%), chlorophyll fluorescence (27.83%), protein (70.47%), proline (30.24%), anthocyanin (34.55%) contents, antioxidant capacity (15.07%), reducing sugar (34.4%), and polysaccharide sugar (24.64%) contents compared to the control. These findings suggest that allantoin can alleviate the detrimental effects of salt stress by bolstering plant physiological responses. Consequently, allantoin application is proposed as a sustainable and environmentally friendly approach to increase hyssop's salinity tolerance.

Keywords: Allantoin, Hyssop, Ion Leakage, Salinity

Corresponding author, Email: kh.kiarostami@alzahra.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.227]