فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۵، خرداد و تیرماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱۹۱-۲۰۹
https://doi.org/10.22034/14.66.191

مقاله پژوهشی

تعدیل تنش شوری و بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد عروسک پشت‌پرده (*Physalis alkekengi* L.) با تغذیه نانوذره روی

فاطمه ملازاده، مرضیه قنبری جهرمی* و مریم مرعشی

گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴)

چکیده

شوری از مهم‌ترین عوامل جهانی محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی است. اختلالات عناصر غذایی در شرایط شوری رشد گیاه را با تأثیر بر فراهمی، انتقال و تقسیم عناصر غذایی کاهش داده و باعث عدم تعادل عناصر غذایی می‌گردد. این آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنش شوری و نانوذره روی بر عروسک پشت‌پرده (*Physalis alkekengi*) در سال ۱۴۰۰ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش شوری در چهار سطح (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl) و نانوذره روی در چهار سطح (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl سبب کاهش وزن تر اندام هوایی (۳۰/۴۴ درصد)، وزن تر ریشه (۲۳/۵۷ درصد)، وزن میوه (۲۴/۱۸ درصد)، عملکرد میوه (۶۷/۲۶ درصد)، فنل کل (۴/۱۴ درصد) و ویتامین C (۱۱/۳۶ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۸/۴ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۵۱۰ واحد آنزیمی) و سوپراکسید دیسموتاز (۵/۱۱ واحد آنزیمی) در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. با افزایش غلظت نانوذره روی شدت اثر تنش شوری کاهش و رشد عروسک پشت‌پرده بهبود یافت. به‌طوری‌که در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی بیش از سایر غلظت‌ها اثربخش بود، اگر چه در اغلب صفات با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در یک گروه آماری بود و تفاوت معنی‌دار نشان نداد. بیشترین میزان عملکرد میوه با ۱۲۲/۷۱ میلی‌گرم در بوته در تیمار شاهد مشاهده شد. براساس نتایج این تحقیق، استفاده از نانوذره روی تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب بهبود صفات عروسک پشت‌پرده شده اما غلظت‌های بالاتر اثر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده نداشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سمیت عناصر، ریزمغذی، مواد جامد محلول

مقدمه

شوری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی در سطح جهان است. اختلالات عناصر غذایی در شرایط شوری رشد گیاه را با تأثیر روی فراهمی، انتقال و تقسیم عناصر غذایی کاهش داده و باعث کمبود یا عدم تعادل عناصر غذایی می‌گردد، بدین ترتیب می‌تواند تغذیه معدنی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. عموماً خاک‌های شور که حاوی مقادیر بالای نسبت‌های سدیم به کلسیم، سدیم به پتاسیم، پتاسیم به کلسیم، کلر به نیترات هستند، به دلیل سمیت ویژه یونی و عدم تعادلات یونی مؤثر بر روی اجزای

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ghanbari@iau.ac.ir

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

بیوفیزیکی یا متابولیکی، باعث کاهش رشد گیاه می‌شوند (Tavakkoli *et al.*, 2010). افزایش غلظت نمک در خاک از طرفی موجب کاهش توانایی گیاه در جذب آب شده و از طرف دیگر هنگامی‌که سدیم و کلر به مقدار زیاد توسط ریشه‌ها جذب می‌شوند، هر دو با مختل‌کردن فرایندهای متابولیکی و کاهش کارایی فتوسنتز، تأثیرات منفی بر رشد گیاه می‌گذارند. از این رو تنش شوری را می‌توان به دو بخش تنش اسمزی و تنش یونی ناشی از تجمع سدیم و کلر تقسیم نمود (Isayenkov and Maathuis, 2019).

در سال‌های اخیر نانو ذرات به‌طور گسترده برای بسیاری از فرآیندهای کشاورزی و زیست‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانوذرات دارای پتانسیل زیادی جهت افزایش متابولیسم گیاه هستند. مطالعات زیادی نشان داده‌اند که استفاده از غلظت‌های مناسب نانو ذرات می‌تواند در افزایش رشد و بهبود کیفیت محصولات نقش مهمی را ایفا نماید (Afshari *et al.*, 2021). در بررسی اثر نانوذره روی (۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام) بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه کتان در شرایط شوری گزارش شد که نانوذرات روی تأثیر مثبتی در کنترل شوری داشتند و نانوذره ۲۰۰ پی‌پی‌ام اثر بهتری نسبت به ۱۰۰ پی‌پی‌ام بر افزایش عملکرد گیاه داشت (Hussein and Abou-Baker, 2018). افزایش غلظت شوری منجر به افزایش قابل توجه پرولین و مالون دی‌آلدهید در هر دو رقم شنبلیله و افزایش قابل توجه پروتئین شد درحالی‌که غلظت قند کاهش یافت. در غلظت بالای تنش شوری، پلی‌فنول اکسیداز، پراکسیداز، لیپوکسیژناز و فنیل آلانین آمونیا لیاز به طور معنی‌داری در هر دو رقم افزایش یافت (Noohpisheh *et al.*, 2021).

عنصر روی (Zn) عنصری است که در مقادیر کم و حیاتی برای گیاه لازم است تا اجازه فعالیت‌های فیزیولوژیک را به گیاه داده و این فعالیت‌ها نقش مهمی در فرآیندهای فتوسنتز و تشکیل قند، سنتز پروتئین، رشد و مقاومت در برابر بیماری دارند (Singh *et al.*, 2018). روی از عناصر مهم در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه است که می‌توانند به طور مستقیم و غیرمستقیم سبب افزایش عملکرد محصولات شود (Mousavi *et al.*, 2013). روی از جمله عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان، حیوانات و انسان است، که به صورت کاتیون دو ظرفیتی جذب می‌شود. این عنصر نقش اساسی در سنتز پروتئین‌ها، DNA و RNA ایفا می‌کند (Sturikova, 2018).

گیاه عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi*) از خانواده سیب‌زمینی (Solanaceae) که به فانوس چینی معروف است گیاهی علفی چندساله (Abdi *et al.*, 2023) و دارای ترکیبات فیتوشیمیایی اصلی آلکالوئیدها و گلوکوکورتیکوی‌دها است (Bahmani *et al.*, 2016; Hassanpour, 2024). گونه *Physalis alkekengi* در طب چینی کاربرد فراوانی دارد و از آب میوه آن، برای درمان آبسه، سرفه و رفع تب و گلودرد استفاده می‌شود (Alani *et al.*, 2023). عروسک پشت‌پرده علاوه بر تازه‌خوری، در اغلب کشورهای اروپایی به صورت فرآوری‌شده در شکل‌های کشمش، میوه خشک، ژله، تهیه سس سالسا، مربا، کمپوت، مارمالاد و بستنی و کوکتل میوه استفاده می‌شود (Samuels, 2015). عروسک پشت‌پرده یکی از محصولاتی است که به واسطه امکان تولید بالای آن در گلخانه و مزرعه و قابلیت فرآوری آن در صنایع تبدیلی و تکمیلی و استقبال بالای بازارهای خارجی از خرید این محصول در کنار بالا بودن قیمت آن در بازارهای جهانی، امروزه مورد توجه بسیاری از تولیدکنندگان گیاهان دارویی قرار گرفته است (Guo *et al.*, 2017). محصولات گیاهان دارویی به دست آمده، علاوه بر امکان فروش مستقیم، با برخی فرآوری‌های اولیه، مانند خشک و بسته‌بندی کردن و استخراج به روش‌های ساده و فنی، ارزش افزوده بسیاری ایجاد می‌نماید. توجه به اهمیت مدیریت تغذیه گیاهی در افزایش و پایداری تولید در کنار حفظ محیط‌زیست و نیز با توجه به جایگاه و اهمیت گیاه عروسک پشت‌پرده به عنوان یک گیاه دارویی مهم در صنایع داروسازی از جمله درمان بیماری‌های پوستی مانند اگزما (Shah and Singh Bora, 2019)، روماتیسم (Parchianloo *et al.*, 2018) و التهاب گلو (Guo *et al.*, 2017) و نیز با توجه کمبود اطلاعات در مورد تأثیر نانوذرات بر خصوصیات گیاه دارویی عروسک پشت‌پرده در شرایط تنش شوری، که یکی از مهمترین

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

چالش‌های کشاورزی در سال‌های اخیر است، و از آنجا که تحقیق چندانی در راستای افزایش ماده مؤثره گیاه فیسالیس با استفاده از نانوذرات مغذی در شرایط تنش شوری انجام نشده است، از این رو تحقیق حاضر با هدف ارزیابی واکنش گیاه به منظور بررسی رشد، عملکرد و اجزای عملکرد فیسالیس صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار و سه مشاهده در سال ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی در شهر کرج انجام شد. بذرهای عروسک پشت‌پرده ضدعفونی و در گلدان‌های پلاستیکی (اندازه ۶) حاوی کوکوپیت و پرلیت (به نسبت ۱:۲) کشت شدند (Abdi *et al.*, 2024) و سپس نشاها به گلدان‌های سه لیتری حاوی کوکوپیت و پرلیت انتقال داده شدند. آبیاری تمامی گلدان‌ها تا مرحله جوانه‌زنی با آب‌مقطر و پس از آن توسط محلول غذایی هوگلند انجام شد (جدول ۱).

در مرحله شش برگی تیمارهای شوری با استفاده از کلرید سدیم (شاهد (با ۲ میلی‌ماوس بر سانتی‌متر=EC)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) به صورت آب آبیاری اعمال شد. همچنین نانوذرات روی با چهار سطح (شاهد (آب‌مقطر)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) هر ۱۵ روز یک‌بار به‌طوری‌که تمام پیکره گیاه خیس می‌شد، محلول‌پاشی گردید (Ahmed *et al.*, 2021). به منظور عدم تجمع کلرید سدیم در کف گلدان‌ها هر ۱۰ روز یک‌بار گیاه با آب آبیاری شد. ویژگی‌های نانوذره روی در جدول ۲ نشان داده شده است. مدت زمان اعمال تنش شوری ۴۵ روز بود (Abdi *et al.*, 2024). EC آب خروجی زهکش هر هفته اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد رویشی گیاه؛ صفات وزن تر اندام هوایی، ریشه و میوه و عملکرد میوه، کلروفیل a، کلروفیل b، فنل کل، آنتوسیانین، ویتامین C، مواد جامد محلول و اسیدهای آلی و پس از باردهی عملکرد میوه اندازه‌گیری شد.

وزن تر اندام هوایی و ریشه پس از برداشت با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. برای اندازه‌گیری اندام هوایی، گیاه کشت‌شده در هر گلدن برداشت و تمام قسمت‌های هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر ریشه، ریشه‌ها به آرامی از گلدان خارج و پس از جداسازی خاک از ریشه، با ترازوی دیجیتال وزن شدند. وزن میوه با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شده و عملکرد میوه براساس وزن تعداد میوه‌های هر بوته محاسبه گردید. اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل برگ با روش Arnon (۱۹۴۹) انجام شد و سپس میزان جذب عصاره استخراج‌شده در طول‌موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده گردید. سپس با استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل a و کلروفیل b بر حسب میلی‌گرم در هر گرم برگ تر محاسبه شد.

$$\text{Chl a} = [(12.7\times A663) - (2.69\times A645)]\times V / 1000\times W$$

$$\text{Chl b} = [(22.9\times A645) - (4.69\times A663)]\times V / 1000\times W$$

در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول‌موج موردنظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ تازه برحسب گرم است.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز براساس روش Giannopolitis و Ries (۱۹۷۷) و کاتالاز بر اساس روش Macadam و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی قابل تیتراسیون یا میزان اسیدهای آلی (TA) ابتدا ۵ میلی‌لیتر از عصاره میوه گرفته شده و داخل ارلن مایر ریخته شد و روی آن ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه شد. الکترود pHمتر داخل محلول قرار گرفته و سپس عمل تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. پایان عمل تیتراسیون زمانی بود که pH محلول به ۸/۱ رسید. براساس مقدار NaOH مصرفی در طی تیتراسیون، مقدار اسید موجود در عصاره میوه به صورت درصد یا گرم اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه (گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) محاسبه گردید. مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون بر حسب درصد طبق رابطه زیر محاسبه شد (فینی‌دخت و همکاران، ۱۳۹۱).

$$A=\frac{V1\times N\times 0.064}{V0}\times 100$$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

جدول ۱- اجزای محلول غذایی هوگلند

اجزاء فرمول هوگلند	مقدار بر اساس CC
KNO_3	۶
$Ca(NO_3)_2 + H_2O$	۴
$NH_4H_2PO_4$	۲
$MgSO_4 + 7H_2O$	۱
KCL	۲
H_3BO_3	۲
$MnSO_4 + H_2O$	۲
$ZnSO_4 + 7H_2O$	۲
$CuSO_4 + 5H_2O$	۲
$H_2MoO_4(\%85MoO_3)$	۲
$Na_2FeEOTA$	۱/۵

جدول ۲- ویژگی‌های نانوذره روی

پارامتر		پارامتر
شکل ظاهری	پودر	سطح ویژه ۲۰-۶۰ گرم بر متر مربع
رنگ	سفید	مورفولوژی تقریباً کروی
چگاری	۵/۶۰۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب	نقطه ذوب ۱۹۷۵ درجه سانتی‌گراد
جرم مولکولی	۸۱/۳۸ گرم در مول	نقطه جوش ۲۳۶۰ درجه سانتی‌گراد
درصد خلوص	بیش از ۹۹ درصد	کشور سازنده آمریکا
اندازه ذره	۱۰-۳۰ نانومتر	

A: درصد اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه (g/100 ml)، V_1: حجم سود مصرفی (ml)، N: نرمالیته سود مصرف و V_0: مقدار عصاره میوه (ml) بود. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول، چند قطره از آب میوه را روی رفراکتومتر قرار داده و عدد مربوطه از روی ستون مندرج خوانده شد. قبل از اقدام به اندازه‌گیری، رفراکتومتر توسط آب‌مقطر کالیبره شد و داده‌ها بر حسب درصد ثبت شد (جلیلی‌مرندی، ۱۳۹۱).

برای تعیین مقدار آنتوسیانین در میوه ۰/۱ گرم بافت میوه تازه را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملاً سائیده و عصاره در لوله آزمایش سرپیچ‌دار ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب محلول رویی در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت با استفاده از فرمول زیر و با در نظر گرفتن ضریب خاموشی 33000 (ε) سانتی‌متر بر مول و نتایج بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر ارائه شد.

$$A=\varepsilon bc$$

A: جذب، b: عرض کوت و c: غلظت محلول مورد نظر است (Nadernejad *et al.*, 2013).

به منظور اندازه‌گیری ویتامین C ابتدا از پنج ماده گیاهی در محلول متانول با دستگاه سوکسله به مدت چهار ساعت عصاره‌گیری شد. عصاره حاصل از کاغذ صافی گذرانده شد و با دستگاه روتاری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تغلیظ گردید.

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

۵۰ میلی‌گرم از عصاره حاصل با ۵۰ میلی‌لیتر اسید متافسفریک ۱ درصد به مدت ۴۵ دقیقه عصاره‌گیری شد. عصاره مجدد توسط کاغذ صافی شماره ۴ صاف شد. یک میلی‌لیتر از عصاره فیلتر-شده با ۹ میلی‌لیتر محلول آماده شده مخلوط گردید و ۳۰ دقیقه بعد عدد جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda خوانده شد. غلظت اسید آسکوربیک نمونه‌ها بر اساس میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن نمونه بیان گردید (Klein and Perry, 1982).

اندازه‌گیری ترکیب‌های فنلی در میوها به وسیله روش‌هایی که از Folin-Ciocalteu به عنوان معرف و اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده می‌نمایند، به‌وسیله اسپکتروفتومتر صورت گرفت (Ouchikh *et al*., 2011).

کلیه داده‌های به‌دست آمده حاصله با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۵ درصد با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر شوری بر وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن تر میوه، عملکرد میوه، در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) و اثر نانوذره روی بر وزن تر اندام هوایی، وزن تر میوه، عملکرد میوه در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) و بر وزن تر ریشه در سطح ۵ درصد ($P\leq0.05$) معنی‌دار شد. برهم‌کنش شوری و نانوذره روی نیز بر وزن تر اندام هوایی و ریشه در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۳).

وزن تر اندام هوایی: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد اما در تیمارهای حاوی نانوذره روی، وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار وزن تر اندام هوایی با ۲۵۲/۳۳ گرم در تیمار شوری صفر (شاهد) و نانوذره ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۱۶/۶ درصدی وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) شد (شکل ۱). تنش شوری به‌عنوان یک مهارکننده اصلی رشد گیاهان دارویی مانند نعناع فلفلی گزارش شد (Said-Al Ahl *et al*., 2016). نتایج تحقیقات Yu و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که میزان زیست‌توده و آب در تمام بخش‌های گیاهی نعناع حتی در کمترین میزان تنش شوری نیز به میزان قابل توجهی کاهش یافت که این میزان کاهش در قسمت‌های هوایی گیاه قابل توجه‌تر از ریشه بود. برخی از محقّقان بیان داشتند که شوری از طریق ایجاد سمّیت در خاک و بر هم زدن تعادل مواد غذایی محلول در خاک رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Morales-Covarrubias *et al*., 2016).

وزن تر ریشه: شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر وزن تر ریشه نداشت اما در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری سبب کاهش وزن تر ریشه شد. در تیمارهای حاوی نانوذره روی، مقدار وزن تر ریشه نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) افزایش پیدا کرد. در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، نانوذره روی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر وزن تر ریشه را به میزان ۶/۱۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۲). در پژوهشی اثر تنش شوری بر عروسک پشت‌پرده بررسی شد و نتایج آن‌ها نشان داد که تنش شوری وزن تر و خشک ریشه را کاهش داد (Karlidag *et al*., 2011). کاهش وزن تر و خشک ریشه گیاه ریحان در نتیجه تنش شوری توسط Archangi و Khodambashi (۲۰۱۴) نیز گزارش شده است.

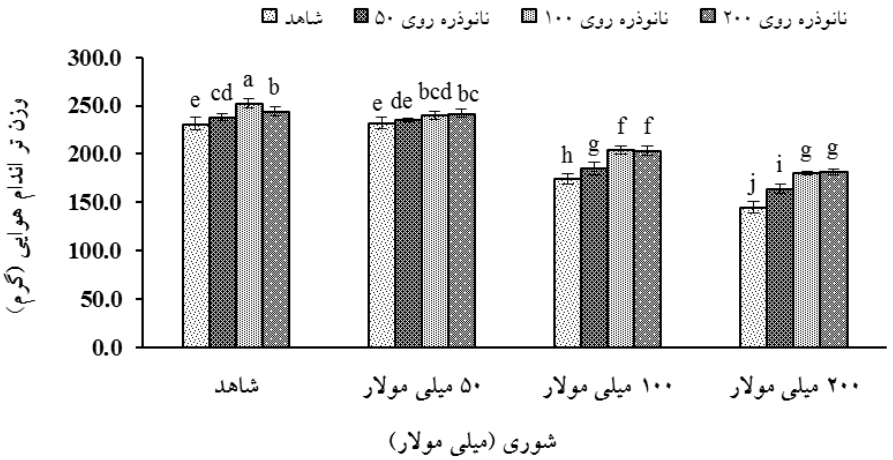
وزن تر میوه: براساس نتایج مقایسه میانگین، شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر وزن تر میوه نداشت اما در سطوح بالاتر شوری، وزن تر میوه کاهش معنی‌داری پیدا کرد. کمترین مقدار وزن تر میوه با ۳/۶۵ گرم در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. بیشترین مقدار وزن تر میوه نیز در تیمارهای شاهد و شوری ۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. تیمار شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار مقدار وزن تر میوه را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۷/۴ و ۲۴/۱۸ درصد نسبت به تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

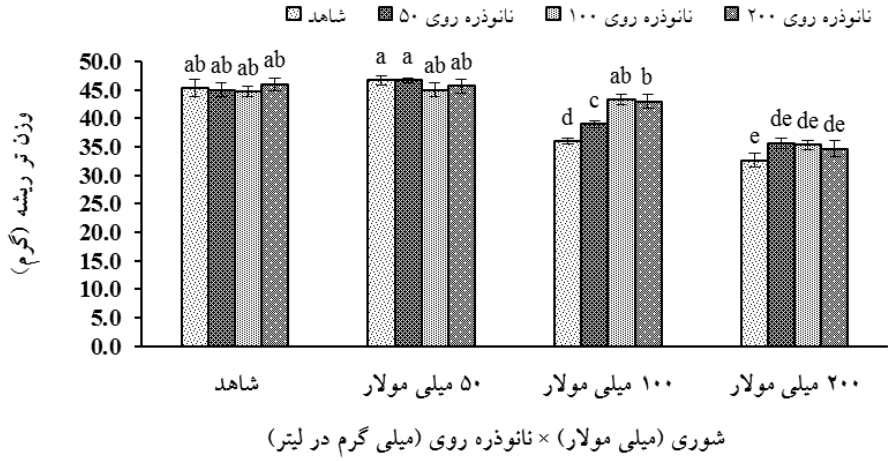
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و نانوذره روی بر وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن تر میوه و عملکرد میوه عروسک پشت‌پرده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن تر میوه	عملکرد میوه
شوری	۳	۱۵۳۳۱/۷**	۳۳۴/۰۲**	۳/۴۸**	۱۶۷۲۰/۹**
نانو ذره روی	۳	۱۴۶۰/۹**	۱۱/۲۵*	۰/۸۱۴**	۱۷۲۳/۴**
شوری × نانوذره روی	۹	۱۱۱/۹**	۱۱/۲۶**	۰/۰۶۴ ns	۴۶/۵۱ ns
خطا	۳۲	۹/۹۴	۲/۹۸	۰/۰۶۶	۷۸/۲۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۱/۵۰	۴/۱۵	۵/۸۱	۱۰/۳۹

**** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ns بیانگر عدم معنی‌داری.**



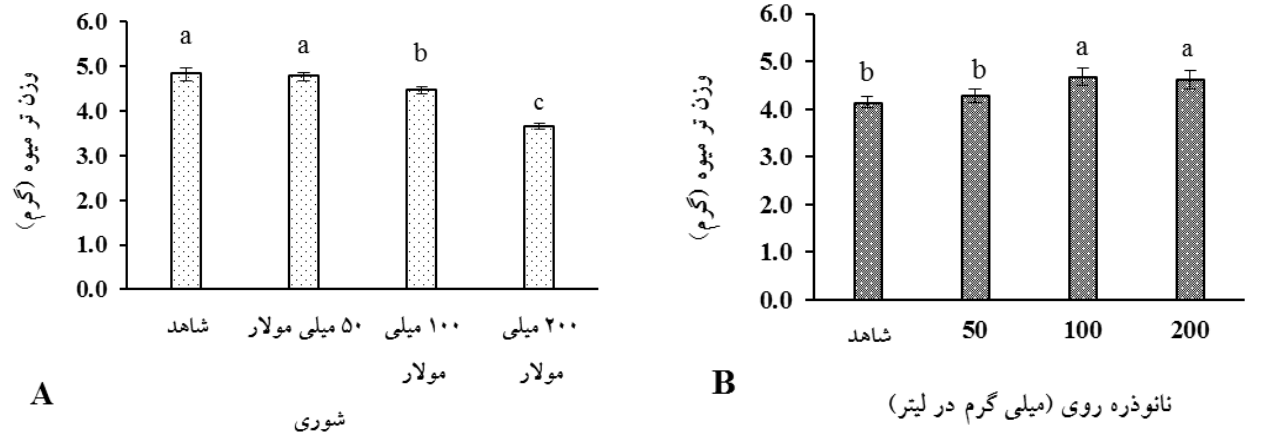
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و نانوذره روی بر وزن تر اندام هوایی عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.



شکل ۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و نانوذره روی بر وزن تر ریشه عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر شوری (A) و نانوذره روی (B) بر وزن تر میوه عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

شاهد کاهش دادند (شکل ۳A).

نانوذره روی تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش وزن تر میوه نسبت به تیمار شاهد شد اما در تیمار نانوذره روی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، وزن تر میوه نسبت به تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد. بیشترین مقدار وزن تر میوه در تیمارهای نانوذره روی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۱۳/۰۷ درصدی وزن تر میوه نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۳B).

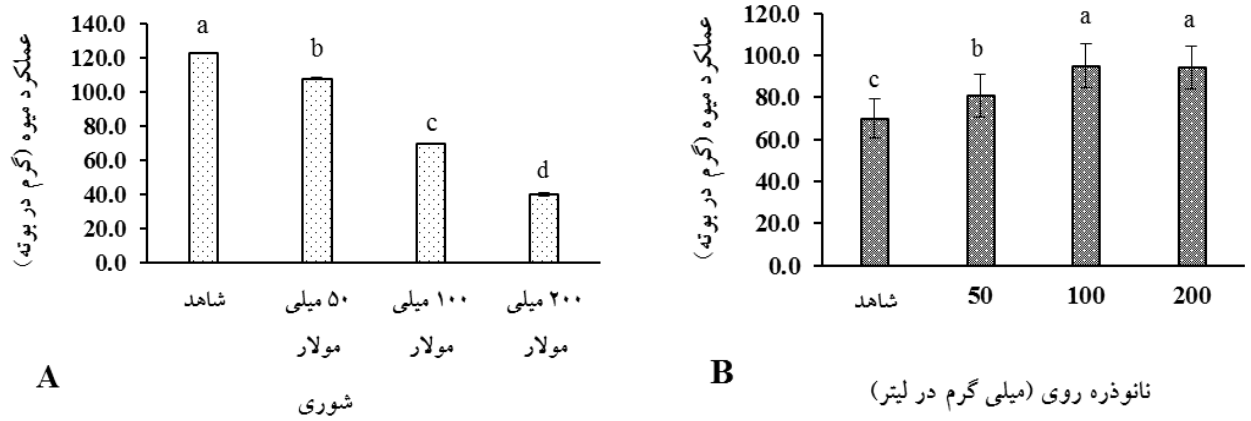
عملکرد میوه: شوری سبب کاهش عملکرد میوه نسبت به تیمار شاهد شد با افزایش سطح شوری، عملکرد میوه روند کاهشی معنی‌داری پیدا کرد به‌طوری‌که در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کمترین مقدار عملکرد میوه (۴۰/۱۶ گرم در بوته) مشاهده شد. بیشترین مقدار عملکرد میوه نیز با ۱۲۲/۷۱ گرم در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۴A). تنش شوری به شدت بر عملکرد بنفشه زینتی (*Viola wittrickiana* cv. Queen Yellow Bee) تأثیر گذاشت (جوادی و همکاران، ۱۴۰۰). کاهش رشد گیاه در محیط‌های شور به دلیل تجمع نمک زیاد در ناحیه ریزوسفر، عدم تعادل مواد مغذی در محلول خاک و رقابت یونی است. این رویدادها بر سرعت فتوسنتز، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای و جذب CO_2 تأثیر می‌گذارد و در نهایت باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Das and Roychoudhury, 2014).

افزایش سطح نانوذره روی تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش عملکرد میوه نسبت به تیمار شاهد شد اما سطوح بالاتر نانوذره روی (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تفاوت معنی‌داری در عملکرد میوه نسبت به تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایجاد نکرد. بیشترین مقدار عملکرد میوه در تیمارهای نانوذره روی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. کمترین مقدار عملکرد میوه نیز با ۷۰ گرم در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۳۵/۹۶ درصدی عملکرد میوه نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴B). Torabian و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در گیاهان آفتابگردان تیمارشده با نانوذره روی، رشد و بهره‌وری گیاهان بهبود یافت. با توجه به اندازه ذرات کوچکتر نانو، جذب، جابجایی و انباشتگی آن‌ها پویاتر از اشکال رایج است. علاوه بر این، سرعت جذب بالا و سطح ویژه و کارایی بالاتر، کاربرد نانوذرات را در مقایسه با اشکال رایج نشان می‌دهد.

محتوای کلروفیل برگ: براساس نتایج تجزیه واریانس اثر شوری بر کلروفیل a و کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) و اثر نانوذره روی نیز بر کلروفیل a و کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر کلروفیل a نداشت اما سطوح بالاتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر شوری (A) و نانوذره روی (B) بر عملکرد میوه عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

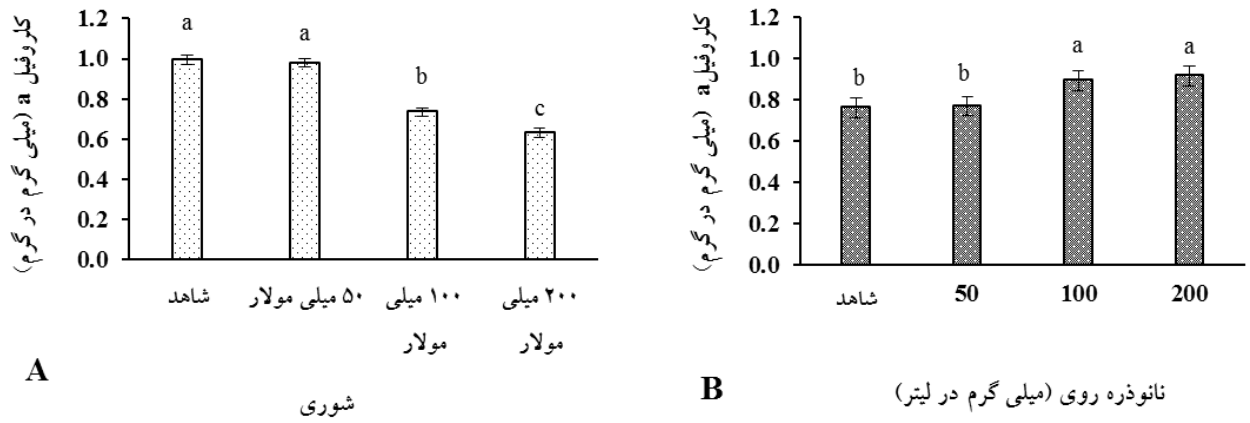
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و نانوذره بر محتوای کلروفیل، فنل کل، آنتوسیانین، ویتامین C، مواد جامد محلول و اسیدهای آلی عروسک پشت‌پرده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		کلروفیل a	کلروفیل b	فنل کل	آنتوسیانین	ویتامین C	مواد جامد محلول	اسیدهای آلی	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز
تنش شوری (A)	۳	۰/۳۹۰**	۰/۰۳۶**	۴۰۵/۷۴**	۴/۸۷**	۲۵۵۷/۰۳**	۲۱/۸۶**	۰/۰۳۶**	۰/۲۶**	۱۶/۳۱**
نانوذره روی (B)	۳	۰/۰۷۹**	۰/۰۰۶۵**	۱۹۴/۰۲**	۰/۵۸۲**	۲۴۳/۱۳**	۴/۲۵**	۰/۰۰۹۹**	۰/۰۲۳**	۳/۳۶**
(B) ×(A)	۹	۰/۰۰۰۳۴^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۶/۷۴^{ns}	۰/۰۹۶^{ns}	۳۶/۴۵*	۰/۵۶۲**	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۷۶**	۰/۶۳۲**
خطا	۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲۶	۲۴/۱۷	۰/۰۷۳	۱۴/۸۳	۰/۰۹۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۸۵	۰/۱۰۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۸۹	۴/۹۴	۳/۳۷	۹/۲۸	۲/۱۲	۴/۷۱	۴/۶۷	۹/۵۱	۸/۹۵

**** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ns بیانگر عدم معنی‌داری.**

شوری، سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل a نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمارهای شاهد و شوری ۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. کمترین مقدار کلروفیل a نیز با ۰/۶۳ میلی‌گرم در گرم در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. تیمار شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، مقدار کلروفیل a را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۶/۱۵ و ۳۶/۳۷ درصد کاهش دادند (شکل 5A). کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری در مطالعات مختلف در رقم‌های انگور نیز گزارش شد (Bybordi, 2015). تنش شوری باعث پیری زودرس برگ‌ها، شکسته شدن کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌شود. کاهش کلروفیل منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود و گیاهانی که در زمان تنش میزان کلروفیل بیشتری را حفظ کنند، کارایی فتوسنتز بیشتری دارند و در برابر تنش مقاوم هستند. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری به‌دلیل فعالیت بیشتر کلروفیلاز است. بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد مانند اسید آبسیزیک و اتیلن که میزان آن‌ها در شرایط تنشی افزایش می‌یابد موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شود. همچنین کاهش میزان سبزینه می‌تواند به‌دلیل تغییر سوخت‌وساز نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین باشد که در شرایط تنش برای تحقق تنظیم اسمزی تولید می‌شود (Ouzounidou *et al.*, 2016). نانوذره روی تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اثر معنی‌داری بر کلروفیل a نداشت اما تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

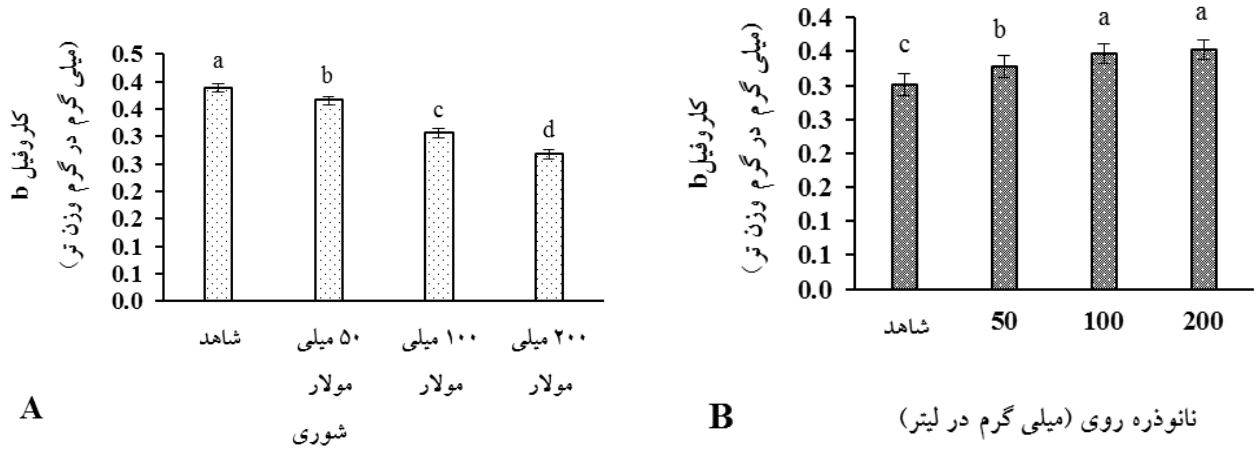


شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر شوری (A) و نانوذره روی (B) بر کلروفیل a عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

افزایش معنی‌دار کلروفیل a نسبت به تیمار شاهد شد. تیمار نانوذره روی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار نانوذره ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، تفاوت معنی‌داری در کلروفیل a ایجاد نکرد. بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمارهای نانوذره ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار کلروفیل a را نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۷/۱۵ درصد افزایش داد (شکل 5B). چندین مطالعه گزارش کرده‌اند که نانوذرات به طور چشمگیری محتوای کلروفیل را در گیاهان بهبود می‌بخشد و گیاهان را قادر می‌سازد تا کمپلکس‌های بیشتری را برای برداشت نور سنتز کنند تا انرژی نوری بیشتری جذب کنند و فتوسنتز را بهبود بخشند (Ali *et al*., 2021; Zulfiqar and Ashraf, 2021). با توجه به مطالعات مختلفی که اثر نانوذرات بر روی گیاهان بررسی کرده‌اند، اکثر نانوذرات موجود توانستند با افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، کلروفیل را افزایش دهند (Abdoli *et al*., 2020; Alabdallah and Alzahrani, 2020; Zulfiqar and Ashraf, 2021).

با افزایش سطح شوری، مقدار کلروفیل b روند کاهشی معنی‌داری پیدا کرد به‌طوری‌که در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، کمترین مقدار کلروفیل b (۰/۲۶۷ میلی‌گرم در گرم) مشاهده شد. بیشترین مقدار کلروفیل b نیز با ۰/۳۸۸ میلی‌گرم در گرم در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، مقدار کلروفیل b را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۱/۲۴ و ۳۱/۱۱ درصد کاهش دادند (شکل 6A). در شرایط تنش، کمپلکس‌های دریافت کننده نور بیشتر به کلروپلاست و کلروفیل b آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل تحت تنش خواهد شد (Garriga *et al*., 2014). همچنین تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند که این عناصر در سنتز کلروفیل ضروری هستند (Athar *et al*., 2015). کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش شوری به عنوان یک علامت معمولی از فوتو اکسیداسیون رنگدانه و تخریب کلروفیل در نظر گرفته شده است (Hajihashemi and Ehsanpour, 2013). با افزایش سطح نانوذره روی تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار کلروفیل b روند افزایشی معنی‌داری داشت اما در سطوح بالاتر نانوذره روی (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تفاوت معنی‌داری در مقدار کلروفیل b ایجاد نشد. کمترین مقدار کلروفیل b با ۰/۳۰ میلی‌گرم در لیتر در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار کلروفیل b را نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۵/۲۳ درصد افزایش داد (شکل B ۶). نانوذرات اکسید روی باعث افزایش محتوای کلروفیل در بادام‌زمینی شده است (Prasad *et al*., 2012). همچنین گزارش شده است که نانوذرات روی می‌توانند بر سامانه‌های فتوسنتزی تأثیر بگذارند. تأثیر نانوذره روی بر افزایش محتوای کلروفیل و کارایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر شوری (A) و نانوذره روی (B) بر کلروفیل b عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

فتوسیستم II در تحقیقات دیگر گزارش شده است (Singh *et al.*, 2018b).

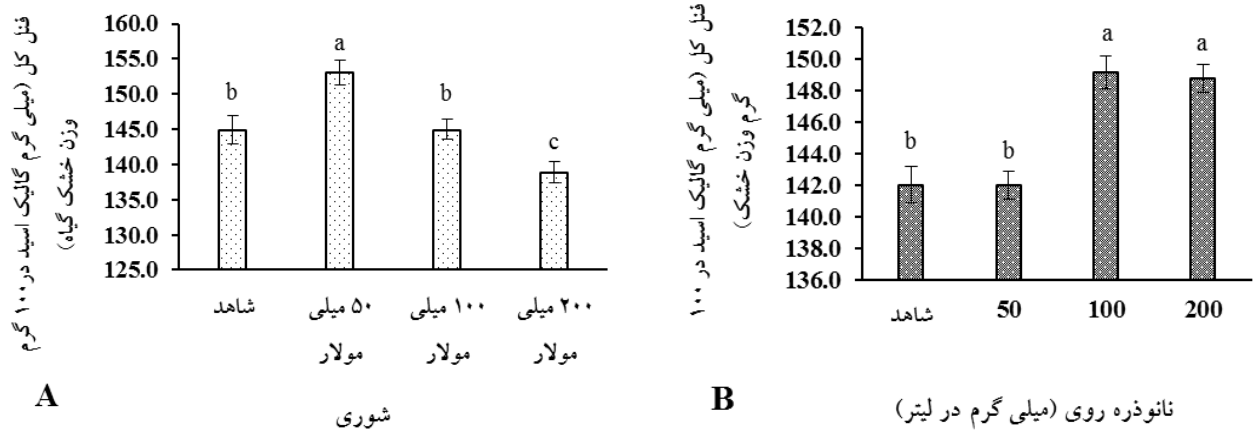
فنل کل: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و نانو ذره بر فنل کل در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۳). شوری تا ۵۰ میلی‌مولار سبب افزایش فنل کل شد اما در سطوح بالاتر شوری، مقدار فنل کل روند کاهشی معنی‌داری پیدا کرد به‌طوری‌که در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کمترین مقدار فنل کل (۱۳۸/۹۱ میلی‌گرم) مشاهده شد. بیشترین مقدار فنل کل نیز با ۱۵۳/۰۸ میلی‌گرم در تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل A ۷). خالوندی و همکاران (۱۳۹۶) اثر تنش شوری بر گیاه ریحان را بررسی کردند نتایج آن‌ها نشان داد فنل کل تحت تیمارهای تنش شوری افزایش معنی‌داری پیدا کرد. فنل‌ها به‌عنوان حسگر تنش شوری در نظر گرفته شده‌اند. برخی از ترکیبات فنلی می‌توانند گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) تولید شده در اثر تنش‌های زنده را از بین ببرند. تنش شوری باعث کاهش جریان الکترون در سامانه انتقال الکترونی فتوسنتز شده و از طریق تولید ROS باعث ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود. گیاهان برای از بین بردن ROS مضر ترکیباتی مانند فنل و فلاوونوئیدها تولید می‌کنند (Das and Roychoudhury, 2014).

نانوذره روی تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اثر معنی‌داری بر فنل کل نداشت اما در تیمار نانوذره روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، فنل کل افزایش معنی‌داری پیدا کرد. مقادیر نانوذره بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم اثر معنی‌داری بر فنل کل نداشت. بیشترین مقدار فنل کل در تیمارهای نانوذره روی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (شکل B ۷). نقش روی در کاربرد کربن برای تولید (از طریق کربوهیدرات‌های تقویت شده) ترکیبات فنلی در چرخه استات می‌تواند یکی از دلایل افزایش فنل کل باشد. ترکیبات فنلی می‌توانند به عنوان جذب‌کننده ROS عمل کنند (Abdal Dayem *et al.*, 2017).

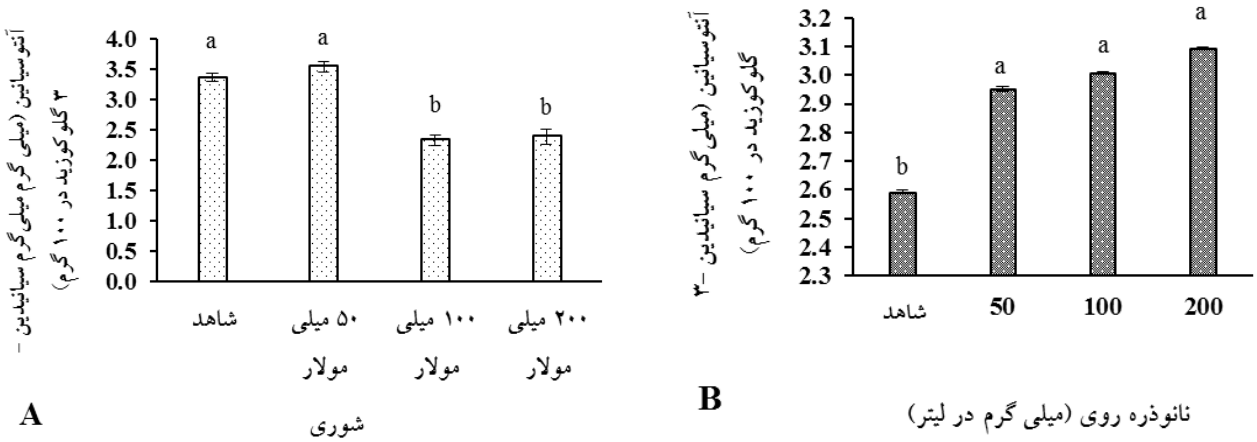
محتوای آنتوسیانین‌های برگ: براساس نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و نانوذره بر آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین، شوری تا ۵۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر آنتوسیانین نداشت اما در سطوح بالاتر شوری، مقدار آنتوسیانین کاهش معنی‌داری پیدا کرد. کمترین مقدار آنتوسیانین در تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار سبب کاهش ۲۸/۹۶ درصدی آنتوسیانین نسبت به تیمار شاهد شد. مقدار آنتوسیانین در تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با هم نداشت (شکل A ۸). تجمع آنتوسیانین اغلب در پاسخ به تنش‌های محیطی رخ می‌دهد. تجمع آنتوسیانین نیز بخشی از واکنش تطبیقی به تنش شوری است. افزایش متابولیت‌های ثانویه و تجمع آنتوسیانین با افزایش سیستم دفاعی گیاه مرتبط

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر شوری (A) و نانوذره روی (B) بر فنل کل عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

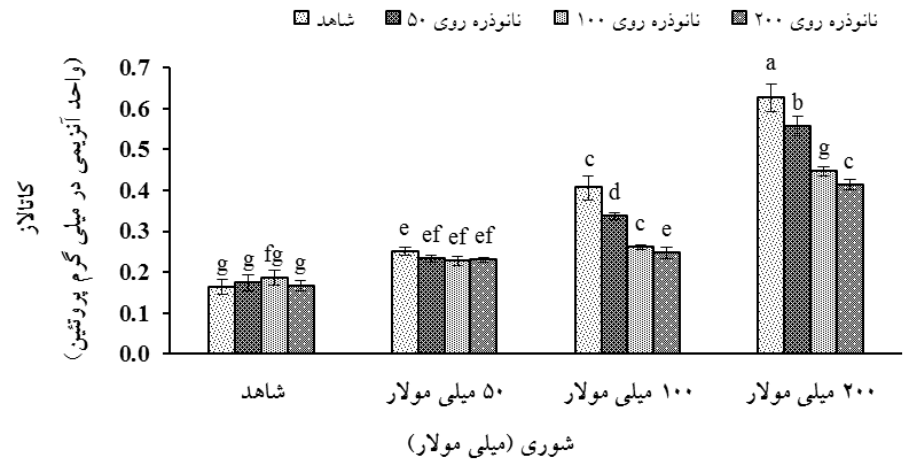


شکل ۸- مقایسه میانگین اثر تنش شوری (A) و نانوذره روی (B) بر آنتوسیانین عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

است و تصور می‌شود که راندمان مهار ROS را افزایش می‌دهد و در نتیجه تحمل گیاه را بهبود می‌بخشد (Cirillo *et al.*, 2021). نانوذره روی سبب افزایش معنی‌دار آنتوسیانین نسبت به تیمار شاهد شد اما بین سطوح مختلف نانوذره روی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کمترین مقدار آنتوسیانین با ۲/۵۹ میلی‌گرم سیانیدین -۳ گلوکوزید در ۱۰۰ گرم در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمار نانوذره روی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار آنتوسیانین را نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۳/۸۲ درصد افزایش داد (شکل ۸B).

فعالیت آنزیم کاتالاز: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده و متقابل شوری و نانوذره بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد ($P\leq0.01$) (جدول ۴). شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد اما در تیمارهای حاوی نانوذره روی، فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) کاهش معنی‌داری پیدا کرد. بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز با ۰/۶۲۶ واحد آنزیمی در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) مشاهده شد. در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، نانوذره روی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار آنزیم کاتالاز را به میزان ۳۴/۰۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) کاهش داد (شکل ۹). اثر نانوذرات بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]



شکل ۹- مقایسه میانگین آنزیم کاتالاز تحت اثر متقابل تنش شوری و نانوذره روی بر عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

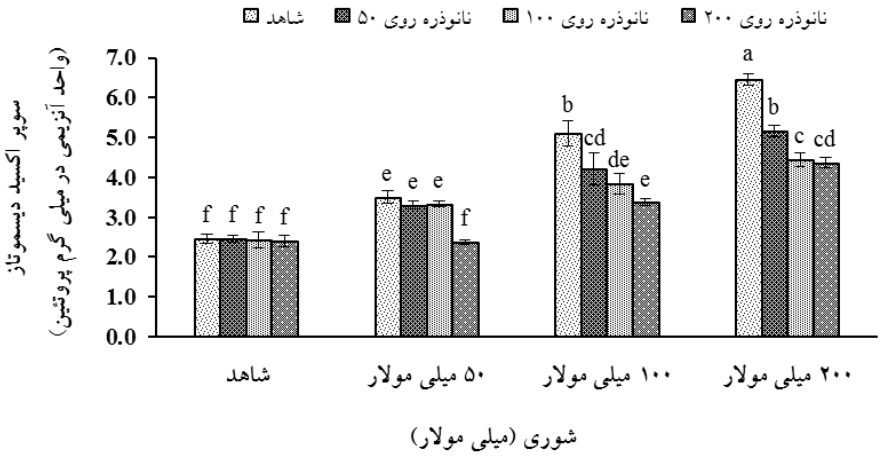
افزایش محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Abdoli *et al*., 2020; Gaafar *et al*., 2020). محققان بیان کردند که برخی از نانوذرات دارای خواص آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خاصی هستند و در نتیجه به گیاه کمک می‌کنند تا بر شرایط اکسیداتیو ایجادشده غلبه کند (Rico *et al*., 2015).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده و متقابل شوری و نانوذره بر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار شد ($P\leq0.01$) (جدول ۴). در سطوح بالای تنش شوری، نانوذره روی سبب کاهش مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) شد. نانوذره روی با کاهش اثر تنش شوری مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را کاهش داد. بیشترین مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با ۶/۴۶ واحد آنزیمی در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی مشاهده شد. در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، افزودن نانوذره ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب کاهش ۳۲/۴۷ درصدی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) شد (شکل ۱۰). افزایش سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش شوری می‌تواند یک پاسخ رایج برای مقابله با اثرات مخرب تنش شوری باشد. روی به عنوان یک ریزمغذی ضروری مهم، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد و غشاهای سلولی را تثبیت می‌کند و همچنین به دلیل دخالت زیاد در ساختار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، نقش اساسی در یکپارچگی غشای سلولی ایفا می‌کند (Hafeez *et al*., 2013).

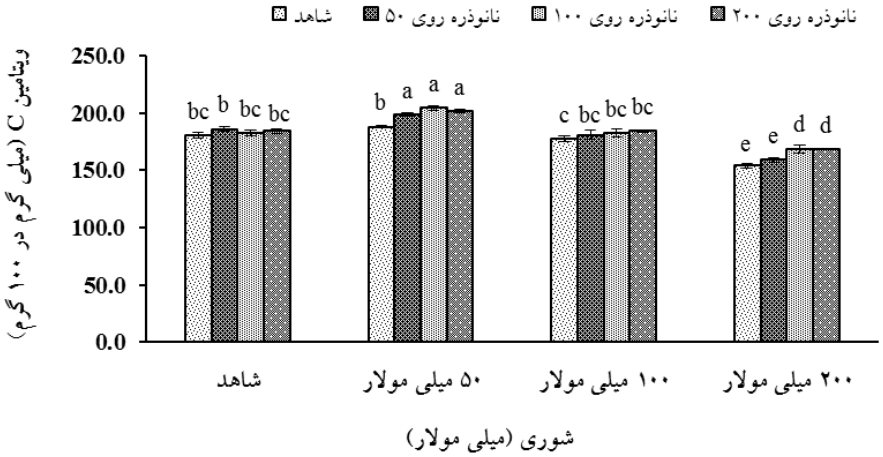
به‌طورکلی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان معمولاً با مقادیر آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنولی ارتباط نزدیکی دارد. آنتوسیانین‌ها و سایر ترکیبات فنولی به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی شناخته می‌شوند و ممکن است فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را تحت تأثیر قرار دهند. ترکیبات فنولی می‌توانند به عنوان پیش‌سازهای آنتی‌اکسیدان عمل کنند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تقویت نمایند (Cirillo *et al*., 2021).

ویتامین C: براساس نتایج تجزیه واریانس اثر شوری، نانو ذره و اثر متقابل آن‌ها بر ویتامین C در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش غلظت نمک، میزان ویتامین C در گیاه کاهش یافت. براساس نتایج مقایسه میانگین، نانوذره روی با کاهش اثر تنش شوری، سبب افزایش مقدار ویتامین C نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) شد. در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، نانوذره ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۹/۳۰ درصدی ویتامین C نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) شد (شکل ۱۱). ویتامین C در بهبود تحمل تنش غیرزیستی و زیستی در گیاهان مؤثر است (Aly *et al*., 2012) که می‌تواند تحمل در برابر تنش‌های غیرزیستی را با افزایش رشد گیاه، سرعت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]



شکل ۱۰- مقایسه میانگین آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت اثر متقابل تنش شوری و نانوذره روی بر عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

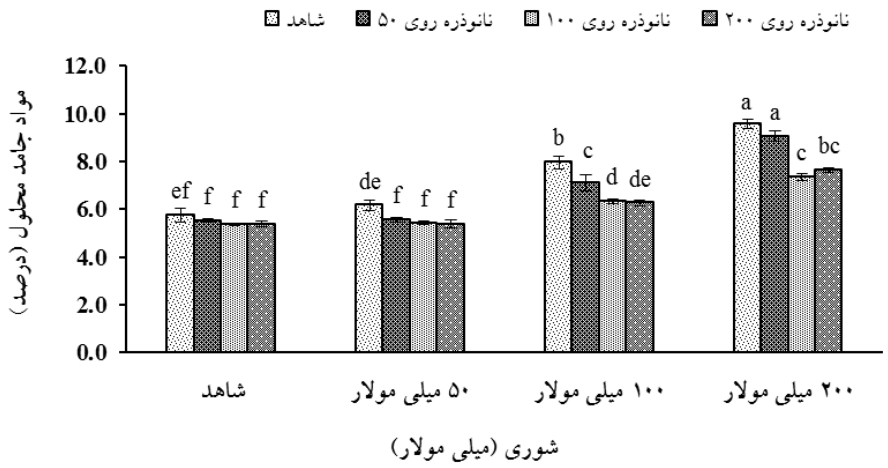


شکل ۱۱- مقایسه میانگین ویتامین C تحت اثر متقابل تنش شوری و نانوذره روی بر عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

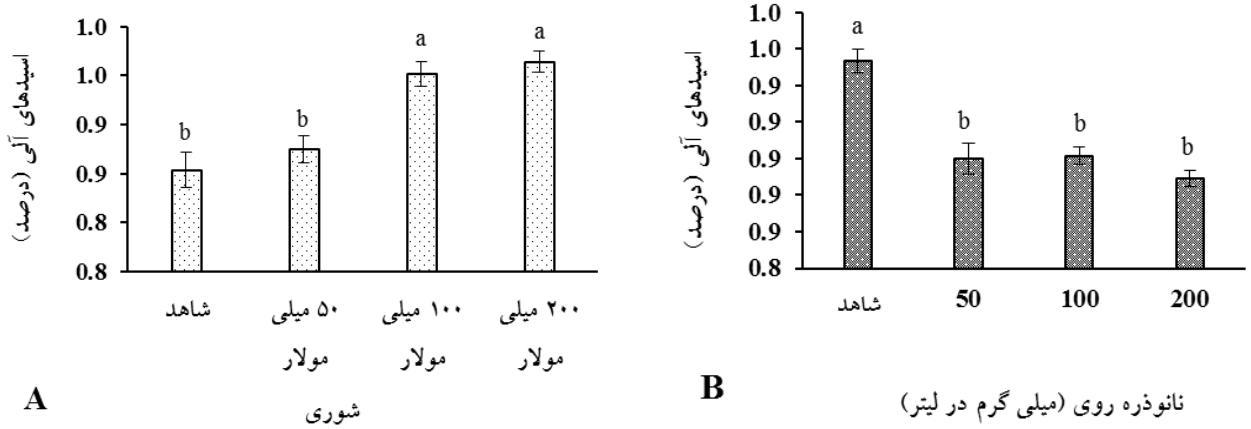
فتوسنتز، تعرق، پتانسیل دفاعی اکسیداتیو و رنگدانه‌های فتوسنتزی بهبود بخشد. ویتامین C جزء اصلی میوه‌های متعدد است که با اکسیژن منفرد و گروه شیمیایی آزاد اضافی پاسخ می‌دهد و پراکسیداسیون را مهار می‌کند (Sofy *et al.*, 2020).

مواد جامد محلول: اثر متقابل شوری و نانوذره روی مواد جامد محلول در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۳). شوری سبب افزایش مواد جامد محلول شد اما در تیمارهای حاوی نانوذره روی، مواد جامد محلول نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) کاهش پیدا کرد. در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، نانوذره ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب کاهش ۲۰/۲۱ درصدی مواد جامد محلول نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذره روی) شد (شکل ۱۲). روی نقش اساسی در فعالیت آنزیم‌های کلیدی دخیل در متابولیسم کربوهیدرات‌ها دارد. عمده آن‌ها کربنیک انیدراز، ریبولوز ۱،۵ بیس فسفات، کربوکسیلازها، اکسیدازها و فروکتوز ۱،۶ بیس فسفات هستند (Hafeez *et al.*, 2013). روی در پروتئین‌ها، بیوسنتز کلروفیل و همچنین در تشکیل و تجمع نشاسته نقش دارد. Najafi و همکاران (۲۰۱۰) افزایش مقدار مواد جامد محلول را به موازات سطوح شوری گزارش کردند. در محیط‌های شور، پلی‌ساکاریدهایی مانند نشاسته برای تولید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]



شکل ۱۲- مقایسه میانگین مواد جامد محلول تحت اثر متقابل تنش شوری و نانوذره روی بر عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر تنش شوری (A) و نانوذره روی (B) بر اسیدهای آلی عروسک پشت‌پرده. عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

مونوساکاریدهای محلول تجزیه می‌شوند که به سلول کمک می‌کند پتانسیل اسمزی را حفظ کند و از آسیب کم آبی جلوگیری کند. علاوه بر این، قندهای محلول به شاخه‌های قطبی جانبی پروتئین‌های غشایی متصل می‌شوند و به حفظ یکپارچگی غشاها و پایداری فراساختار سلولی کمک می‌کنند.

اسیدهای آلی: نتایج مقایسه میانگین نشان داد شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر اسیدهای آلی نداشت اما سطوح بالاتر شوری سبب افزایش اسیدهای آلی نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار اسیدهای آلی در تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، مقدار اسیدهای آلی را به میزان ۱۱/۵۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۱۳A). شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و همچنین کاهش یون‌ها غذایی مورد نیاز گیاه مانند پتاسیم بر رشد آن‌ها تأثیر می‌گذارد. این تأثیر در گیاهان شورپسند معمولاً به خاطر اثر اسمزی است، حال آن که این کاهش در گیاهان غیر شورپسند حاصل اثر سمیت یونی نیز است. تجمع اسیدهای آلی در سلول غالباً نتیجه انتقال یون پتاسیم بدون همراهی آنیون‌ها به درون سیتوپلاسیم سلول است. برای ایجاد تعادل در یون پتاسیم نیاز به سنتز اسیدهای آلی در سلول است،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

جدول ۵- نتایج همبستگی بین صفات عروسک پشت‌پرده (*Physalis alkekengi* L.)

صفات	وزن خشک اندام هوایی (۱)	وزن خشک ریشه (۲)	ارتفاع (۳)	عملکرد میوه (۴)	فنل کل (۵)	ویتامین C (۶)	اسیدهای آلی (۷)	پتاسیم برگ (۸)	آنتوسیانین (۹)	کاتالاز (۱۰)	سوپر اکسیددیسموتاز (۱۱)	مواد جامد محلول (۱۲)	سدیم برگ (۱۳)
(۱)	۱												
(۲)	۰/۸۳**	۱											
(۳)	۰/۹۳**	۰/۸۷**	۱										
(۴)	۰/۹۷**	۰/۸۲**	۰/۹۵**	۱									
(۵)	۰/۷۱**	۰/۷۶**	۰/۷۷**	۰/۶۹**	۱								
(۶)	۰/۷۷**	۰/۸۹**	۰/۸۶**	۰/۷۹**	۰/۹۱**	۱							
(۷)	−۰/۸۵**	−۰/۶۹**	−۰/۸۱**	−۰/۸۸**	−۰/۶۲*	−۰/۷۲**	۱						
(۸)	۰/۹۴**	۰/۷۷**	۰/۹۱**	۰/۹۵**	۰/۶۸**	۰/۷۵**	−۰/۹۲**	۱					
(۹)	۰/۸۵**	۰/۷۲**	۰/۸۱**	۰/۸۶**	۰/۶۹**	۰/۷۶**	۰/۸۵**	۰/۹۲**	۱				
(۱۰)	−۰/۸۹**	−۰/۸۷**	−۰/۹۷**	−۰/۹۱**	−۰/۶۸**	−۰/۸۱**	۰/۸۱**	−۰/۸۸**	−۰/۷۶**	۱			
(۱۱)	−۰/۹۲**	−۰/۷۸**	−۰/۹۳**	−۰/۹۱**	−۰/۶۴**	−۰/۷۴**	۰/۸۷**	−۰/۹۴**	−۰/۸۴**	۰/۹۵**	۱		
(۱۲)	−۰/۹۱**	−۰/۸۸**	−۰/۹۷**	−۰/۹۳**	−۰/۷۸**	−۰/۸۷**	۰/۸۶**	−۰/۹۳**	−۰/۸۵**	۰/۹۷**	۰/۹۵**	۱	
(۱۳)	−۰/۹۱**	−۰/۸۲**	−۰/۹۵**	−۰/۹۳**	−۰/۶۸**	−۰/۸۰**	۰/۸۸**	−۰/۹۲**	−۰/۸۴**	۰/۹۷**	۰/۹۸**	۰/۹۷**	۱

از این رو چنانچه میزان جذب پتاسیم زیاد شود، برای حفظ تعادل، سنتز اسیدها در گیاه ضرورت دارد (Wang *et al.*, 2015). بیشترین مقدار اسیدهای آلی با ۰/۹۵ درصد در تیمار شاهد مشاهده شد. با استفاده از غلظت‌های مختلف نانوذره روی، مقدار اسیدهای آلی کاهش یافت (شکل ۱۳B).

نتایج همبستگی بین صفات عروسک پشت‌پرده: براساس نتایج، عملکرد میوه با وزن خشک اندام هوایی (۰/۹۷)، وزن خشک ریشه (۰/۸۲)، ارتفاع (۰/۹۵)، فنل کل (۰/۶۹)، ویتامین C (۰/۷۹)، پتاسیم برگ (۰/۹۵) و آنتوسیانین (۰/۸۶) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات اسیدهای آلی (۰/۸۸-)، کاتالاز (۰/۹۱-)، سوپراکسید دیسموتاز (۰/۹۱-)، مواد جامد محلول (۰/۹۳-) و سدیم برگ (۰/۹۳-) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. سدیم برگ نیز با صفات وزن خشک اندام هوایی (۰/۹۱-)، وزن خشک ریشه (۰/۸۲-)، ارتفاع (۰/۹۵-)، فنل کل (۰/۶۸-)، ویتامین C (۰/۸۰-)، پتاسیم برگ (۰/۹۲-) و آنتوسیانین (۰/۸۴-) همبستگی منفی و معنی‌دار و با صفات اسیدهای آلی (۰/۸۸)، کاتالاز (۰/۹۷)، سوپراکسید دیسموتاز (۰/۹۸) و مواد جامد محلول (۰/۹۷) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش به وضوح اثرات منفی شوری را بر وزن تر ریشه و گیاه، محتوای کلروفیل، ویتامین C و عملکرد میوه نشان داد. شوری آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و مواد جامد محلول را افزایش داد. نانوذره روی صفات عروسک پشت‌پرده را بهبود بخشید که نشان می‌دهد محلول‌پاشی نانوروی قادر به افزایش عملکرد و بهره‌وری گیاهان در شرایط شور است. نتایج این تحقیق نشان داد که نانوذرات می‌توانند رشد گیاه را تحریک کرده و تنش شوری را در گیاهان کاهش دهند. به نظر می‌رسد استفاده صحیح از نانوذرات در کشاورزی، راهبردی پایدار برای کاهش تنش‌های شوری در آینده باشد. علاوه بر این، استفاده از نانوذرات در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

غلظت‌های بهینه ممکن است منجر به ارتقای سلامت گیاه شود و ممکن است نقش مهمی در کشاورزی پایدار برای محصولات غذایی و غیرخوراکی ایفا کند.

منابع

جلیلی‌مرندی، رسول (۱۳۹۱). فیزیولوژی بعد از برداشت. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه، چاپ سوم.

خالوندی، معصومه، عامریان، محمدرضا، پیردشتی، همت‌اله، برادران فیروزآبادی، مهدی، و غلامی، احمد (۱۳۹۶). اثر همزیستی قارچ *Piriformospora indica* بر کمیت اسانس و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی نعناع فلفلی در تنش شوری. نشریه *زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۹(۳۲)، ۲۰-۱.

فینی‌دخت، سیدرسول، محمدرضا، و شیرزاد، حبیب (۱۳۹۱). تأثیر کاربرد کیتوزان و کلروکلسیم بر کاهش پوسیدگی پس از برداشت و تغییر ویژگی‌های کیفی گیلاس رقم سیاه مشهد. *مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه علوم باغبانی*، ۲۶(۴)، ۳۸۷-۳۸۴. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.18224

Abdal Dayem, A., Hossain, M. K., Lee, S. B., Kim, K., Saha, S. K., Yang, G. M., & Cho, S. G. (2017). The role of reactive oxygen species (ROS) in the biological activities of metallic nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(1), 120. https://doi.org/10.3390/ijms18010120

Abdi, M. J., Ghanbari Jahromi, M., Mortazavi, S. N., Kalateh Jari, S., & Nazarideljou, M. J. (2023). Foliar-applied silicon and selenium nanoparticles modulated salinity stress through modifying yield, biochemical attribute, and fatty acid profile of *Physalis alkekengi* L. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(45), 100513-100525. https://doi.org/10.1007/s11356-023-29450-4

Abdi, M. J., Ghanbari Jahromi, M., Mortazavi, S. N., Kalateh Jari, S., & Nazarideljou, M. J. (2024). Physiological responses and nutritional implications of *Physalis alkekengi* L. under varied salinity stress and Si and Se nanoparticle treatments. *Journal of Ornamental Plants*, *1*(14), 51-71.

Abdoli, S., Ghassemi-Golezani, K., & Alizadeh-Salteh, S. (2020). Responses of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) to exogenous salicylic acid and iron oxide nanoparticles under salt stress. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(29), 36939-36953. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09453-1

Afshari, M., Pazoki, A., & Sadeghipour, O. (2021). Foliar-applied silicon and its nanoparticles stimulate physio-chemical changes to improve growth, yield and active constituents of coriander (*Coriandrum Sativum* L.) essential oil under different irrigation regimes. *Silicon*, *13*(11), 4177-4188. https://doi.org/10.1007/s12633-021-01101-8

Ahmed, R., Yusoff Abd Samad, M., Uddin, M. K., Quddus, M. A., & Hossain, M. M. (2021). Recent trends in the foliar spraying of zinc nutrient and zinc oxide nanoparticles in tomato production. *Agronomy*, *11*(10), 2074. https://doi.org/10.3390/agronomy11102074

Alabdallah, N. M, & Alzahrani, H. S. (2020). The potential mitigation effect of ZnO nanoparticles on [*Abelmoschus esculentus* L. Moench] metabolism under salt stress conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *27*(11), 3132-3137. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.005

Alani, F., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., et al. (2023). Simulated microgravity improved secondary metabolism in *Physalis alkekengi* via influencing gene expression and DNA methylation in a light quality-dependent manner. *Acta Physiologiae Plantarum*, *45*, 129. https://doi.org/10.1007/s11738-023-03596-7

Ali, S., Mehmood, A., & Khan, N. (2021). Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. *Journal of Nanomaterials*, *2021*(1), 6677616. https://doi.org/10.1155/2021/6677616

Aly, A. A., Mansour, M., Mohamed, H. I., & Abd-Elsalam, K. A. (2012). Examination of correlations between several biochemical components and powdery mildew resistance of flax cultivars. *The Plant Pathology Journal*, *28*(2), 149-155. https://doi.org/10.5423/PPJ.2012.28.2.149

Archangi, A, & Khodambashi, M. (2014). Effects of salinity stress on morphological characteristics, essential oil content and ion accumulation in basil (*Ocimum basilicum*) plant under hydroponic conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions Isfahan University of Technology*, *17*(1), 125-138.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, *24*(1), 1. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Athar, H. U. R., Zafar, Z. U., & Ashraf, M. (2015). Glycinebetaine improved photosynthesis in canola under salt stress: Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters as potential indicators. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *201*(6), 428-442. https://doi.org/10.1111/jac.12120

Bahmani, M., Rafieian-Kopaei, M., Naghdi, N., Nejad, A. S. M., & Afsordeh, O. (2016). Physalis alkekengi: A review

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

of its therapeutic effects. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, *9*(3), 1472-1485.
Bybordi, A. (2015). Influence of exogenous application of silicon and potassium on physiological responses, yield, and yield components of salt-stressed wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *46*(1), 109-122. https://doi.org/10.1080/00103624.2014.956936
Cirillo, V., D'Amelia, V., Esposito, M., Amitrano, C., Carillo, P., Carputo, D., & Maggio, A. (2021). Anthocyanins are key regulators of drought stress tolerance in tobacco. *Biology (Basel)*, *10*(2), 139. https://doi.org/10.3390/biology10020139
Das, K, & Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, *2*, 53. https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00053
Gaafar, R., Diab, R., Halawa, M., Elshanshory, A., El-Shaer, A., & Hamouda, M. (2020). Role of zinc oxide nanoparticles in ameliorating salt tolerance in soybean. *Egyptian Journal of Botany*, *60*(3), 733-747.
Garriga, M., Retamales, J. B., Romero-Bravo, S., Caligari, P. D., & Lobos, G. A. (2014). Chlorophyll, anthocyanin, and gas exchange changes assessed by spectroradiometry in *Fragaria chiloensis* under salt stress. *Journal of Integrative Plant Biology*, *56*(5), 505-515. https://doi.org/10.1111/jipb.12193
Giannopolitis, C. N, & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. *Plant Physiology*, *59*(2), 315-318. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.315
Guo, Y., Li, S., Li, J., Ren, Z., Chen, F., & Wang, X. (2017). Anti-hyperglycemic activity of polysaccharides from calyx of *Physalis alkekengi* var. franchetii Makino on alloxan-induced mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, *99*, 249-257. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.086
Hafeez, B. M. K. Y., Khanif, Y. M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition-a review. *American Journal of Experimental Agriculture*, *3*(2), 374. https://doi.org/10.9734/AJEA/2013/2746
Hajihashemi, S, & Ehsanpour, A. A. (2013). Influence of exogenously applied paclobutrazol on some physiological traits and growth of *Stevia rebaudiana* under in vitro drought stress. *Biologia*, *68*(3), 414-420. https://doi.org/10.2478/s11756-013-0165-7
Hassanpour, H. (2024). Optimized medium composition in *Physalis alkekengi* callus culture altered nitric oxide level for inducing antioxidant enzyme activities and secondary metabolites. *Scientific Reports*, *14*, 16425. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67191-7
Hussein, M. M, & Abou-Baker, N. H. (2018). The contribution of nano-zinc to alleviate salinity stress on cotton plants. *Royal Society Open Science*, *5*(8), 171809. https://doi.org/10.1098/rsos.171809
Isayenkov, S. V, & Maathuis, F. J. (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 80. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080
Karlidag, H., Yildirim, E., & Dursun, A. (2011). Salt tolerance of *Physalis* during germination and seedling growth. *Packistan Journal of Botany*, *43*, 2673-2676.
Klein, B. P, & Perry, A. K. (1982). Ascorbic acid and vitamin a activity in selected vegetables from different geographical areas of the United Sates. *Journal of Food Science*, *47*, 941-945. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb12750.x
Macadam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue: I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology*, *99*(3), 872-8. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872
Morales-Covarrubias, M. S., Garcia-Aguilar, N., del Carmen Bolan-Mejia, M., & Puello-Cruz, A. C. (2016). Evaluation of medicinal plants and colloidal silver efficiency against *Vibrio parahaemolyticus* infection in *Litopenaeus vannamei* cultured at low salinity. *Diseases of Aquatic Organisms*, *122*(1), 57-65. https://doi.org/10.3354/dao03060
Mousavi, S. R., Galavi, M., & Rezaei, M. (2013). Zinc (Zn) importance for crop production—a review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, *4*(1), 64-68.
Nadernejad, N., Ahmadimoghadam, A., Hosseinifard, S. J., & Poorseyedi, S. (2013). Evaluation of PAL activity, phenolic and flavonoid contents in three pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars grafted onto three different rootstocks. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *9*, 84-97.
Najafi, F, & Khavari-Nejad, R. A. (2010). The effects of salt stress on certain physiological parameters in summer savory (*Satureja hortensis* L.) plants. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *6*(1), 13-21.
Noohpisheh, Z., Amiri, H., Mohammadi, A., & Farhadi, S. (2021). Effect of the foliar application of zinc oxide nanoparticles on some biochemical and physiological parameters of *Trigonella foenum-graecum* under salinity stress. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *155*(2), 267-280. https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1739160
Ouchikh, O., Chahed, T., Ksouri, R., Ben Taarit, M., Faleh, H., Abdelly, C., Kchouk, M. E., & Marzouk, B. (2011). The effects of extraction method on the measured tocopherol level and antioxidant activity of *L. nobilis* vegetative organs. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*, 103-110. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.04.006
Ouzounidou, G., Giannakoula, A., Ilias, I., & Zamanidis, P. (2016). Alleviation of drought and salinity stresses on

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

growth, physiology, biochemistry and quality of two *Cucumis sativus* L. cultivars by Si application. *Brazilian Journal of Botany*, *39*(2), 531-539. https://doi.org/10.1007/s40415-016-0274-y

Parchianloo, S., Khieri, A., Arghavani, M., & Amiri, M. S. (2018). The effects of Nnitroxin and biosoulfur biofetilizers on morphological and phytochemical traits of winter cherry (*Physalis alkekengi*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(4), 39-48.

Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, *35*(6), 905-927. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443

Rico, C. M., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2015). Nanotechnology and Plant Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14502-0_1

Said-Al Ahl, H. A., Abou-Ellail, M., & Omer, E. A. (2016). Harvest date and genotype influences growth characters and essential oil production and composition of *Petroselinum crispum* plants. *Journal of chemical pharmlogy Research*, *8*(5), 992-1003.

Samuels, J. (2015). Biodiversity of food species of the solanaceae family: A preliminary taxonomic inventory of subfamily solanoideae. *Resources*, *4*, 277-322. https://doi.org/10.3390/resources4020277

Shah, P, & Singh Bora, K. (2019). Phytochemical and therapeutic potential of Physalis species: A review. *IOSR-JPBS*, *14*(4), 34-51. https://doi.org/10.29252/jmp.4.72.S12.1

Singh, A., Singh, N. A., Afzal, S., Singh, T., & Hussain, I. (2018a). Zinc oxide nanoparticles: A review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. *Journal of Materials Science*, *53*(1), 185-201. https://doi.org/10.1007/s10853-017-1544-1

Singh, D., Geat, N., Rajawat, M. V. S., Prasanna, R., Kar, A., Singh, A. M., & Saxena, A. K. (2018b). Prospecting endophytes from different Fe or Zn accumulating wheat genotypes for their influence as inoculants on plant growth, yield, and micronutrient content. *Annals of Microbiology*, *68*(12), 815-833. https://doi.org/10.1007/s13213-018-1388-1

Sofy, M. R., Seleiman, M. F., Alhammad, B. A., Alharbi, B. M., & Mohamed, H. I. (2020). Minimizing adverse effects of pb on maize plants by combined treatment with jasmonic, salicylic acids and proline. *Agronomy*, *10*(5), 699. https://doi.org/10.3390/agronomy10050699

Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., & Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials*, *349*, 101-110. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040

Tavakkoli, E., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2010). High concentrations of Na^+ and Cl^- ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, *61*(15), 4449-4459. https://doi.org/10.1093/jxb/erq251

Torabian, S., Zahedi, M., & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2016). Effect of foliar spray of zinc oxide on some antioxidant enzymes activity of sunflower under salt stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *18*, 1013-1025.

Wang, R., Cheng, T., & Hu, L. (2015). Effect of wide–narrow row arrangement and plant density on yield and radiation use efficiency of mechanized direct-seeded canola in Central China. *Field Crops Research*, *172*, 42-52. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.005

Yu, X., Liang, C., Chen, J., Qi, X., Liu, Y., & Li, W. (2015). The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L. *Scientia Horticulturae*, *197*, 579-583. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.023

Zulfiqar, F, & Ashraf, M. (2021). Nanoparticles potentially mediate salt stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *160*, 257-268. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.028

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]

Alleviating salinity stress in Chinese lantern (*Physalis alkekengi* L.) by improving the plants growth characteristics and yield using zinc nanoparticle

Fatemeh Mollazadeh, Marzieh Ghanbari Jahromi*, Maryam Marashi

Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received: 2024/06/28, Accepted: 2024/12/24)

Abstract

Salinity is one of the major factors limiting agricultural production worldwide. Under salinity conditions, nutrient imbalances affect plant growth by disrupting nutrient uptake, transport, and distribution, leading to deficiencies or imbalances in nutrients. This experiment was conducted as a factorial design within a completely randomized structure (CRD) with three replications in 2021 to evaluate the effect of zinc nanoparticles on *Physalis alkekengi* L. under salinity stress. Four levels of salinity (control, 50, 100, and 200 mM) and four levels of zinc nanoparticles (control, 50, 100, and 200 mg/L) as foliar applications were tested. The results indicated that, compared to the control, the highest salinity level (200 mM) caused significant reductions in several characteristics: shoot fresh weight (30.44%), root fresh weight (23.57%), fruit weight (24.18%), fruit yield (67.26%), potassium content (30.52%), total phenol (4.14%), and vitamin C (11.36%). However, under 200 mM salinity, an increase was observed in soluble solids (8.4%), catalase activity (0.510 U/mg protein), superoxide dismutase (5.11 U/mg protein), and sodium content in leaves (7.72 mg). Zinc nanoparticles helped mitigate the adverse effects of salt stress, enhancing plant traits. The control treatment produced the highest fruit yield at 122.71 mg per plant. Based on the findings, zinc nanoparticle concentrations up to 100 mg/L improved the performance of *Physalis alkekengi* L., whereas higher concentrations did not have any additional effect on the measured traits.

Keywords: Antioxidant enzymes, Micronutrient, Total soluble solids, Toxic elements

Corresponding author, Email: ghanbari@iau.ac.ir

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

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.191]