بررسی کاربرد نانوذره اکسید روی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم از شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) تحت تنش شوری

زهرا نوح پیشه[۱]، حمزه امیری[۱*]، عبدالناصر محمدی غلامی[۱] و سعید فرهادی[۲]

[۱] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، [۲] گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۵/۱۱)

چکیده

تنش شوری یکی از عوامل محیطی محدودکننده رشد و نمو گیاهان است و دارای تأثیرات منفی متعددی بر پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان است. بنابراین، ترکیبات مختلفی در زمینه کاهش اثرات زیان‌آور این تنش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان نانوذرات فلزی دارای تأثیرات منفی و مثبت بر گونه‌های گیاهی مختلف هستند. این مطالعه با هدف بررسی برهمکنش غلظت‌های مختلف نانوذره اکسید روی و سدیم کلرید بر تغییرات مورفولوژیکی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای پروتئین و برخی آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی در دو رقم اردستانی و مشهدی شنبلیله انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، سه سطح نانوذره (۰صفر، ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و چهار سطح سدیم کلرید (صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار) انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار در وزن تر اندام هوایی و ریشه و درصد محتوای نسبی آب ریشه در غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید در هر دو رقم گردید. بالاترین وزن تر اندام هوایی در رقم مشهدی در برهمکنش غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مشاهده شد. به‌طور کلی تیمار با نانوذره موجب بهبود وزن تر و خشک گیاه در هر دو رقم شد. در رقم اردستانی بیشترین میزان فنل در برهمکنش غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و بالاترین میزان فلاونوئید در اثر متقابل غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید مشاهده شد. بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در هر دو رقم در برهمکنش غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مشاهده شد. افزایش غلظت نانوذره نیز موجب افزایش معنی‌دار کاروتنوئید در هر دو رقم گردید. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی براساس میزان IC50 در رقم مشهدی و در برهمکنش غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مشاهده شد. نتایج این بررسی نشان داد که در گیاهان تحت تنش شوری کاربرد نانوذرات روی سبب بهبود شرایط رشدی گیاه شده است.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدانت غیرآنزیمی، پارامترهای مورفولوژیکی، تنش شوری، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نانوذره اکسید روی

مقدمه

شنبلیله یک جنس از خانواده Fabaceae و یک محصول مهم مورد کشت در مناطق نیمه‌خشک جهان است. جنس مذکور به‌طور گسترده‌ای در کشورهای مدیترانه‌ای، اروپای جنوبی، هند و چین رشد می‌کند. این گیاه به‌عنوان داروی گیاهی در درمان طیف وسیعی از بیماری‌ها از قبیل دیابت جهت کاهش

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Amiri.h @lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

سطح گلوکز خون کاربرد دارد. دانه‌های شنبلیله و برگ‌های آن غنی از مواد معدنی، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها ، اما دارای لیپید اندکی هستند (Pasandi Pour *et al.*, 2014).

براساس مطالعات پیشین، شنبلیله گیاهی است که دارای حساسیت نسبی به تنش شوری است و این تنش بر گرهک‌زایی و سایر پارامترهای گیاه اثر منفی دارد و موجب آسیب‌های اکسیداتیو در گیاه می‌شود. تنش شوری مشکل عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. غلظت‌های بالای سدیم کلرید موجب ایجاد سمیت یونی و اسمزی و عدم‌تعادل مواد غذایی می‌شود و باعث افت در رشد و تولید مثل و در نهایت مرگ سلولی می‌گردد. به‌منظور مقابله با تنش شوری، گیاهان عکس‌العمل‌های متفاوتی نشان می‌دهند و توسط مکانیسم‌های مختلف مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فتوسنتزی تطابق پیدا می‌کنند. غلظت بالای سدیم کلرید، معمولاً منجر به کاهش نسبت پتاسیم/ سدیم و افزایش پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای پلاسمایی می‌شود. نشت غشایی موجب کمبود پتاسیم و بسته‌شدن روزنه و درنتیجه کاهش فتوسنتز می‌گردد. در گیاهانی که در طولانی‌مدت در معرض محیط شور قرار می‌گیرند، تحمل شوری معمولاً همراه با کاهش زیست‌توده ماست (Lee *et al.*, 2013).

در این میان نانوذرات دارای اثرات مثبت و منفی بر گونه‌های گیاهی مختلف هستند و موجب طیف وسیعی از تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی با توجه به ویژگی‌های نانوذرات و گونه گیاهی می‌شوند نانوذرات که هم از طریق ریشه و هم اندام هوایی جذب گیاه می‌شوند از یک طرف به‌علت اندازه کوچک، ویژگی ظاهری و نسبت سطح به حجم بیشتر، رشد و تولید محصول را افزایش می‌دهند و از سویی دیگر حفاظت را در مقابل انواع تنش‌های غیرزیستی فراهم می‌کنند (Khan *et al.*, 2016). درجه سودمندی نانوذرات توسط ساختار شیمیایی، اندازه، سطح پوشش، واکنش‌پذیری، گونه گیاهی و مهم‌تر از همه غلظت مورد استفاده تعیین می‌شود (Siddiqui *et al.*, 2015). نانوذرات می‌توانند فعالیت‌های مهم گیاهی را که شامل رویش و نمو دانه، ایجاد گیاهک، رشد ریشه و اندام هوایی و فتوسنتز می‌شود کنترل کنند. به‌علاوه، ذرات نانو در مکانیسم دفاع گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو درگیر هستند. کاربرد برگی عناصر میکرو و ماکرو در مقیاس نانو به‌عنوان یک روش مؤثر جهت افزایش تحمل به شوری در گیاهان گزارش شده است و عنوان شده است که اثرات زیان‌آور تنش شوری را تخفیف می‌دهد که به‌علت افزایش جذب مواد غذایی توسط برگ یا ریشه درنتیجه بهبود رشد ریشه است (Soliman *et al.*, 2015). کاربرد برگی اکسید روی و اکسید آهن در شکل نانو در گیاهان مختلف، اثرات زیان‌آور تنش شوری را تخفیف داده است. براساس مطالعات، کاربرد نانوذره روی ممکن است اثرات زیان‌آور سدیم کلرید را به‌وسیله ممانعت از جذب سدیم یا کلر و انتقال آنها کاهش دهد. براساس برخی گزارشات نانوذرات موجب به‌راه‌انداختن جریان کلسیم یا مولکول‌های سیگنال در سیتوزول می‌شوند که توسط پروتئین‌های اتصالی به کلسیم یا سایر پروتئین‌های ویژه نانوذرات دریافت می‌شوند و بیان ژن و تحمل گیاه به تنش را افزایش می‌دهند (Khan *et al.*, 2016). در مقابل، خصوصیات دیگر نانوذرات، آنها را زیان‌آور می‌سازد و موجب القا تنش اکسیداتیو، سمیت سلولی، پاسخ‌های ژنوتوکسیک، آسیب در فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، افت میزان مواد غذایی و به‌طور کلی کاهش در رویش دانه، رشد و نمو گیاهان می‌گردند. اثرات سمی نانوذرات بر گیاهان به اندازه ذرات، غلظت، ساختار و ویژگی شیمیایی جایگاه استقرارآنها بستگی دارد (Khan *et al.*, 2016). در این تحقیق میزان تاثیر غلظت‌های مختلف شوری بر پاسخ‌های مورفولوژیکی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانت دو رقم از گیاه شنبلیله مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با توجه به اینکه در مطالعات پیشین نانوذرات دارای اثرات مثبت و منفی براساس غلظت، گونه گیاهی و شرایط رشد گیاه بوده‌اند تحقیق مورد نظر به‌منظور بررسی تأثیر مثبت یا منفی غلظت‌های مختلف نانوذرات بر گیاه شنبلیله و اینکه آیا نانوذرات قادر به تخفیف اثرات زیان‌آور شوری هستند یا نه انجام شده است و پاسخ‌های دو رقم مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

مواد و روش‌ها

کاشت و تیمار گیاهان: بذرهای دو رقم از گیاه شنبلیله (اردستانی و مشهدی) از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان خریداری شدند. بذرهای شنبلیله پس از طی مراحل ضدعفونی‌شدن، به‌صورت هیدروپونیک با استفاده از محلول غذایی هوگلند کاشته شدند. سپس، گیاهان کاشته‌شده در شرایط گلخانه‌ای با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد در روز، ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شب و دوره نوری ١٦ ساعته قرار گرفتند. در مرحله چهار برگی، تیمار گیاهان آغاز گردید. از چهار سطح نانوذره اکسید روی (ZnO) (صفر، ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌صورت اسپری برگی استفاده شد.

اندازه‌گیری پارامترهای رشد (طول، وزن تر، وزن خشک) و محتوای نسبی آب (RWC): بعد از پایان دوره تیمار، گیاهان از محیط‌کشت خارج شدند و نمونه تازه اندام هوایی و ریشه جهت سنجش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای مورفولوژیکی شامل طول، وزن تر و خشک و محتوای نسبی آب اندام هوایی و ریشه گیاهان در گروه‌های تیماری مختلف، مورد اندازه‌گیری قرار داده شد.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید: جهت سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۷۸) استفاده شد. شدت جذب در طول‌موج‌های ٤٧٠، ٦٤٧ و ٦٦٣ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل +T80 خوانده شد. غلظت رنگیزه‌های مذکور با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید (Lee *et al*., 2013):

$Chl a\ (mg.L^{-1}) = (12.25A663 - 2.7A647)$
$Chl b\ (mg.L^{-1}) = (21.21A647 - 5.1A663)$
$ChlT = Chl a + Chl b$
$Car\ (mg.L^{-1}) = (1000A470 - 1.8Chl a - 85.2Chl b)\ /198$

سنجش محتوای فنل، فلاونوئید و آنتوسیانین کل: جهت استخراج عصاره مورد نظر، ٠/٤ گرم بافت تر گیاه در هاون چینی محتوی ۱۵ میلی‌لیتر متانول اسیدی ساییده شد. سپس ۱۳ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست‌آمده به‌منظور سنجش فنل و فلاونوئید به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانترفیوژ گردید. همچنین برای سنجش آنتوسیانین کل، ۲ میلی‌لیتر از عصاره هر نمونه به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور سانترفیوژ شد. سنجش محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین- سیوکالئو انجام شد و با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید محاسبه و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر ارائه گردید (Plessi *et al*., 2007). به‌منظور سنجش محتوای فلاونوئید کل از روش رنگ سنجی آلومینیوم کلرید استفاده شد. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٤٢٠ نانومتر خوانده شد. محتوای فلاونوئید کل با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان گردید (Chang *et al*., 2002). جهت اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین کل از روش wagner (۱۹۷۹) استفاده شد. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. محتوای آنتوسیانین کل با استفاده از ضریب خاموشی آن معادل $۳۳۰۰۰\ mM^{-1}cm^{-1}$ محاسبه و بر حسب نانوگرم بر گرم وزن تر گزارش گردید (Hatamian and Salehi, 2017).

سنجش آنتی‌اکسیدانت کل: در این سنجش، ۵۰ میکرولیتر از غلظت‌های مختلف عصاره با یک میلی‌لیتر از محلول متانول محتوی رادیکال‌های DPPH (٠٠٤/ درصد حجمی) مخلوط شد. بعد از مدت زمان ۳۰ دقیقه، جذب نمونه در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از میکروپلیت ریدر (Bio Tek, U.S.A) خوانده شد. میزان بازدارندگی رادیکال‌های آزاد با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$I\% = (A_{blank} - A_{sample}/A_{blank}) \times 100$

IC50 نشان‌دهنده غلظتی از عصاره است که موجب ۵۰ درصد بازدارندگی رادیکال آزاد می‌شود (Tepe *et al*., 2006).

اندازه‌گیری محتوای پروتئین: جهت استخراج پروتئین، مقدار یک گرم از بافت تر اندام هوایی با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات (KH_2PO_4/K_2HPO_4) ۰/۱ مولار در PH=8 حاوی EDTA (تریپلکس II) ۲ میلی‌مولار، بتامرکاپتو اتانول ١/٤ میلی‌مولار و پلی‌وینیل پیرولیدین (PVP) ۱٪ هموژن شد. روشناور، به‌مدت ۲۰ دقیقه در ٤ درجه سانتی‌گراد در ۱۳۰۰۰ rpm سانترفیوژ گردید. سپس جهت سنجش پروتئین مورد استفاده قرار گرفت. جهت تخمین مقدار پروتئین از روش Bradford (١٩٧٦) استفاده شد و غلظت پروتئین با منحنی استاندارد محاسبه و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

گردید.

نتایج

در پژوهش حاضر، تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) در وزن تر اندام هوایی و ریشه در غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید در هر دو رقم اردستانی (جدول ۱) و مشهدی (جدول ۲) شد. همچنین بالاترین وزن تر اندام هوایی در رقم اردستانی (جدول ۱) در غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و در رقم مشهدی (جدول ۲) در برهمکنش سدیم کلرید ۷۵ میلی‌مولار و غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره اکسید روی مشاهده شد. اثر متقابل نانوذره اکسید روی و شوری سدیم کلرید بر وزن خشک نشان داد که در رقم اردستانی، بالاترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به برهمکنش غلظت ۷۵ میلی مولار سدیم کلرید و غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره اکسید روی (P≤۰/۰۵) و بیشترین وزن خشک ریشه در برهمکنش غلظت پایین شوری و غلظت بالای نانوذره (P≤ ۰/۰۵) است (جدول ۱). غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید در رقم اردستانی موجب افزایش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) در طول اندام هوایی شد (جدول ۱). اما در رقم مشهدی، روند مذکور برعکس است (جدول ۲). برهمکنش غلظت بالای شوری و نانوذره موجب کاهش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) طول اندام هوایی و ریشه در رقم اردستانی شد و کمترین طول ریشه و اندام هوایی در رقم مذکور مربوط به برهمکنش غلظت بالای نانوذره و حداکثر غلظت شوری (P≤۰/۰۵) است. در پژوهش حاضر، غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید موجب کاهش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) در درصد محتوای نسبی آب ریشه واندام هوایی در هر دو رقم اردستانی (جدول ۱) و مشهدی (جدول ۲) گردید. پایین‌ترین میزان پارامتر مذکور در اندام هوایی هر دو رقم مربوط به برهمکنش غلظت بالای شوری و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره است.

بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل) در برهمکنش غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (ppm) نانوذره اکسید روی (P≤۰/۰۵) در هر دو رقم مشاهده شد. غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید موجب افزایش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل در هر دو رقم گردید. اما غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل *a* (P≤۰/۰۵) در هر دو رقم نسبت به گروه شاهد شد. غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم نانوذره نیز محتوی کلروفیل *b* را به‌صورت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) در هر دو رقم افزایش داد. علاوه بر این، غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره در برهمکنش با غلظت بالای شوری، رنگیزه‌های کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل را به‌صورت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) در هر دو رقم افزایش داد (شکل ۱).

افزایش غلظت نانوذره، موجب افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئید نسبت به گروه شاهد در هر دو رقم شنبلیله (P≤۰/۰۵) شد. افزایش غلظت سدیم کلرید در رقم مشهدی، میزان کاروتنوئید را به‌صورت معنی‌دار (۰۵/) نسبت به گروه شاهد افزایش داد. در رقم اردستانی نیز افزایش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) کاروتنوئید در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید مشاهده شد (شکل ۲). در پژوهش حاضر با توجه به شکل ۲، میزان تنش شوری تغییرات معنی‌داری (P≤۰/۰۵) در محتوای پروتئین در رقم اردستانی ایجاد نکرد، اما در رقم مشهدی، غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید موجب کاهش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) پروتئین نسبت به گروه شاهد گردید و افزایش غلظت شوری، پروتئین را به‌طور معنی‌داری (P≤۰/۰۵) افزایش داد. در رقم اردستانی، بالاترین مقدار پروتئین در برهمکنش غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و نانوذره اکسید روی در غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. در رقم مشهدی، برهمکنش نانوذره با شوری در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید موجب کاهش معنی‌دار پروتئین (P≤۰/۰۵) گردید. همچنین در این رقم، هر یک از دو غلظت ۱۰۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره در شرایط نرمال به‌ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) پروتئین نسبت به گروه شاهد شدند (شکل ۲).

با توجه به شکل، تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

جدول ۱- مقایسه میانگین‌های اثر نانوذره اکسید روی و شوری بر پارامترهای مورفولوژیکی در رقم اردستانی گیاه شنبلیله

شوری (mM)	نانوذره (ppm)	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	طول اندام هوایی	محتوای آب اندام هوایی
صفر	۰	۱/۰۳ ± ۰/۰۱ gh	۰/۱۰ ± ۰/۰۰ bc	۲/۰۷ ± ۰/۵ b-d	۹۰/٤ ± ۱/٤ a
	۱۰۰۰	۱/۳۲ ± ۰/۰۹ c-e	۰/۱۳ ± ۰/۰۱ a-c	۱/٦٦ ± ۰/۱٤ cd	۹۰/۵ ± ۰/٤ a
	۳۰۰۰	۱/۳۷ ± ۰/۰۱ cd	۰/۱۵ ± ۰/۰۰ ab	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ ef	۸۹/٦ ± ۰/۰۳ a
۷۵	۰	۱/۷۱ ± ۰/۰٤ a	۰/۱۵ ± ۰/۰۱ a	۲/۵۳ ± ۰/٤٦ b	۹۰/۲ ± ۰/۰۵ a
	۱۰۰۰	۱/۵۳ ± ۰/۰۲ b	۰/۱۳ ± ۰/۰۱ a	۱/٦۹ ± ۰/۰۱ cd	۸۹/۸ ± ۰/۱۱ a
	۳۰۰۰	۱/٤۵ ± ۰/۰۹ bc	۰/۱۳ ± ۰/۰۳ a-c	۱/۵۵ ± ۰/۱ de	۹۰/٤ ± ۰/۱۰ a
۱۵۰	۰	۱/۲ ± ۰/۰۵ fg	۰/۱۷ ± ۰/۰۰ a	۲/۱۵ ± ۰/۰۵ bc	۹۰/۲ ± ۰/۰٦ a
	۱۰۰۰	۱/۲ ± ۰/۰۲ ef	۰/۱٦ ± ۰/۰۰ ab	۱/۹۸ ± ۰/۲۲ cd	۸۹/۷ ± ۰/۰٤ a
	۳۰۰۰	۰/۹۸ ± ۰/۰٦ h	۰/۱٦ ± ۰/۰۰ a	۱/۷۳ ± ۰/۰۵ cd	۸۸/٤ ± ۱/۱٦ a
۲۲۵	۰	۰/۳٦ ± ۰/۰۲ i	۰/۰۸ ± ۰/۰۰ c	۳/۸۸ ± ۰/۳ a	۷۲/۵ ± ۲/٤ b
	۱۰۰۰	۱/۲۷ ± ۰/۰۲ d-f	۰/۱٤ ± ۰/۰۲ ab	۱/۰۸ ± ۰/۰۸ ef	۸۸/٤ ± ۰/۰۷ a
	۳۰۰۰	۰/۳۱ ± ۰/۰۵ i	۰/۱٤ ± ۰/۰۱ ab	۰/۷۱ ± ۰/۰۱ f	٦۵/۲ ± ۱/۵۸ c

حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است (P≤۰/۰۵).

ادامه جدول ۱-

شوری (mM)	نانوذره (ppm)	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طولریشه	محتوای آب ریشه
صفر	۰	۰/۸۲ ± ۰/۱۱ a	۰/۰٦ ± ۰/۰ cd	۱۰/۹ ± ۰/۳ cd	۹۳/۱ ± ۰/۵ a
	۱۰۰۰	۱/۰۸ ± ۰/۳٤ a	۰/۱۳ ± ۰/۰۲ a	۱۱/۸ ± ۰/۰ a-d	۸۹/۵ ± ۰/۲ a-d
	۳۰۰۰	۱/۰۲ ± ۰/۰٤ a	۰/۰۹ ± ۰/۰ a-c	۱۰/۸ ± ۱/۵ cd	۹۰/۷ ± ۰/٦ a-c
۷۵	۰	۱/۰۸ ± ۰/۰۲ a	۰/۰۹ ± ۰/۰۲ a-c	۱۲/۸ ± ۰/٤ a-c	۹۲/۱ ± ۰/۸ ab
	۱۰۰۰	۰/۹۵ ± ۰/۰٤ a	۰/۱۰ ± ۰/۰۰۲ a-c	۱۳/۸ ± ۰/۹ a	۸۹/۵ ± ۰/۱ a-d
	۳۰۰۰	۱/۱۱ ± ۰/۰۳ a	۰/۱۰ ± ۰/۰۰۷ a-c	۱۱/٦ ± ۰/۸ b-d	۹۱/٤ ± ۰/۳ a-c
۱۵۰	۰	۰/٦۷ ± ۰/۰٤ ab	۰/۰۹ ± ۰/۰۰۲ a-c	۱۲/۸ ± ۰/٤ a-c	۸۵/۹ ± ۰/۵ d
	۱۰۰۰	۰/۷۸ ± ۰/۰۱ ab	۰/۰٦ ± ۰/۰۰۵ cd	۱۳/۷ ± ۰/۸ ab	۹۱/٤ ± ٤ a-c
	۳۰۰۰	۱/۰۳ ± ۰/۳٦ a	۰/۱۲ ± ۰/۰۳ ab	۱۰/۰ ± ۰/۸ de	۸۸/۱ ± ۰/۲ b-d
۲۲۵	۰	۰/۳۳ ± ۰/۰۵ b	۰/۰٤ ± ۰/۰۰۵ d	۱۱/۷ ± ۰/۷ a-d	۹۰/۲ ± ۰/۷ a-d
	۱۰۰۰	۰/٦۹ ± ۰/۰۸ ab	۰/۰۸ ± ۰/۰۱ b-d	۱۲/۷ ± ۰/٤ a-c	۸۸/۲ ± ۱/۰ b-d
	۳۰۰۰	۰/۸٦ ± ۰/۰٤ a	۰/۰٦ ± ۰/۰۱ cd	۸/۲ ± ۰/٤ e	۸۷/۱ ± ۲/۵ cd

حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است (P≤۰/۰۵).

فلانوئید رقم اردستانی نداشت، اما در رقم مشهدی، موجب کاهش معنی‌دار میزان فلاونوئید (P≤۰/۰۵) گردید. بالاترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثر نانوذره اکسید روی و شوری بر پارامترهای مورفولوژیکی در رقم مشهدی گیاه شنبلیله

شوری (mM)	نانوذره (ppm)	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	طول اندام هوایی	محتوای آب اندام هوایی
صفر	۰	۱/۸۵ ± ۰/۰۹ ab	۰/۲۱ ± ۰/۰۰ ab	۱۸/۱۶ ± ۰/۸۱ a	۸۹/۵ ± ۰/۱۹ a
	۱۰۰۰	۱/۸۲ ± ۰/۴۵ ab	۰/۱۸ ± ۰/۰۲ bc	۱۷/۰۴ ± ۰/۱۹ ab	۸۸/۹ ± ۰/۰۳ a
	۳۰۰۰	۱/۷۱ ± ۰/۰۹ ab	۰/۱۵ ± ۰/۰۰ de	۱۴/۸ ± ۱/۵ cd	۹۰/۹ ± ۰/۴۱ a
۷۵	۰	۱/۹۹ ± ۰/۱۴ a	۰/۱۹ ± ۰/۰۰ bc	۱۵/۶ ± ۰/۱۱ bc	۹۰/۲ ± ۰/۰۷ a
	۱۰۰۰	۲/۱۷ ± ۰/۱۳ a	۰/۲۳ ± ۰/۰۰ a	۱۶/۹ ± ۰/۲۸ ab	۸۸/۸ ± ۱/۰۸ a
	۳۰۰۰	۲/۰۶ ± ۰/۳۲ a	۰/۱۳ ± ۰/۰۳ de	۱۵/۶ ± ۰/۴۲ bc	۹۲/۹ ± ۰/۴۰ a
۱۵۰	۰	۱/۶۵ ± ۰/۱۷ ab	۰/۲۰ ± ۰/۰۰ ab	۱۴/۰۵ ± ۱/۳ cd	۸۸/۵ ± ۲/۸۰ a
	۱۰۰۰	۱/۹۳ ± ۰/۰۲ ab	۰/۲۰ ± ۰/۰۲ ab	۱۸/۵۱ ± ۰/۲۱ a	۸۹/۳ ± ۰/۱۰ a
	۳۰۰۰	۱/۷۸ ± ۰/۰۴ ab	۰/۱۶ ± ۰/۰۰ c-e	۱۲/۹۲ ± ۰/۰۷ d	۹۱/۶ ± ۰/۳۶ a
۲۲۵	۰	۰/۳۵ ± ۰/۰۹ c	۰/۱۲ ± ۰/۰۰ e	۹/۸ ± ۰/۶ f	۷۱/۱ ± ۱۸/۶ b
	۱۰۰۰	۰/۴۶ ± ۰/۱۴ c	۰/۱۶ ± ۰/۰۲ cd	۱۱/۷۶ ± ۰/۲۱ ef	۶۹/۷ ± ۰/۰۱ b
	۳۰۰۰	۱/۴ ± ۰/۱۱ b	۰/۱۴ ± ۰/۰۱ de	۱۱/۷ ± ۰/۳۸ ef	۹۱/۹ ± ۲/۱۱ a

حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است (P≤۰/۰۵).

ادامه جدول ۲-

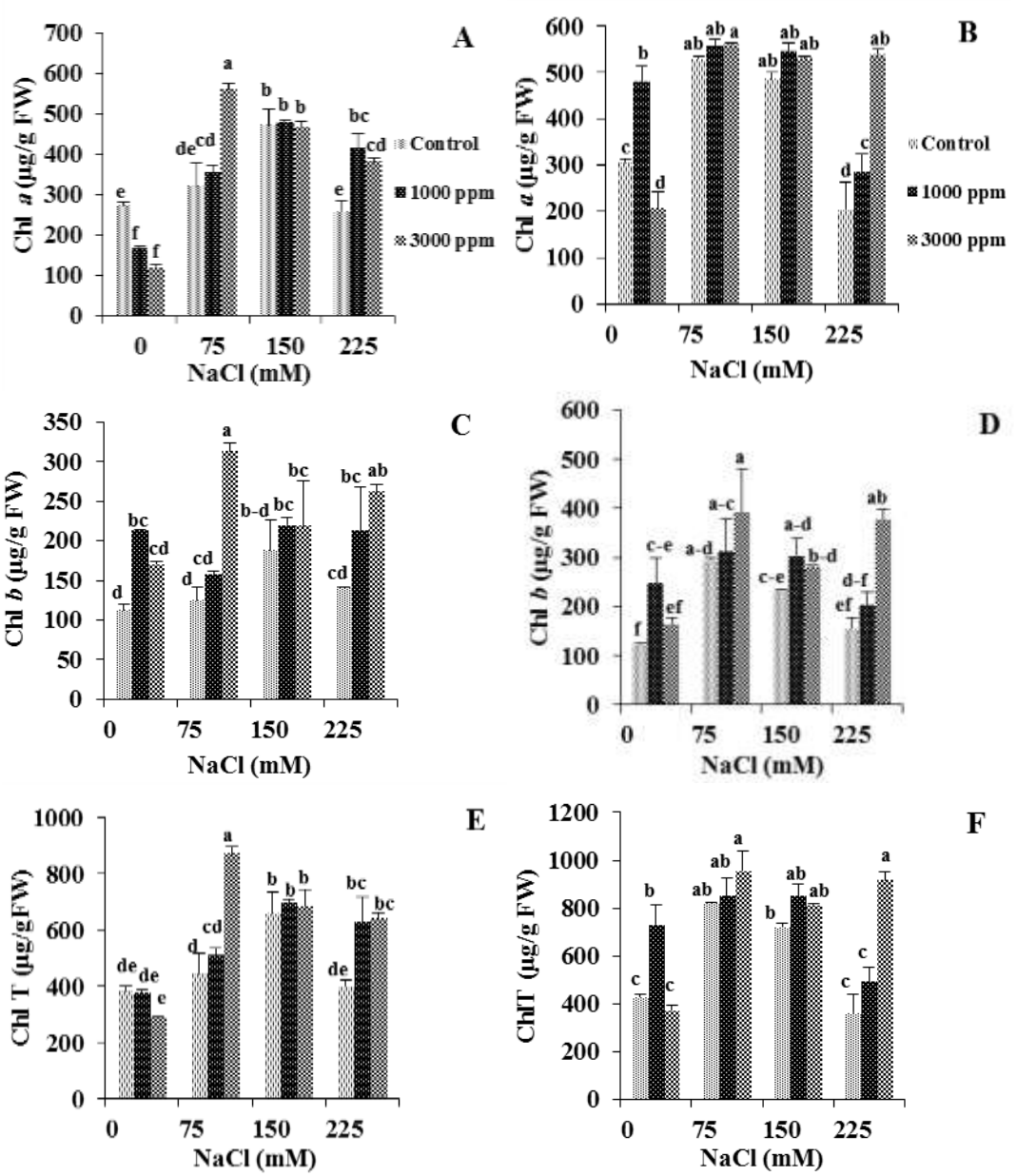
شوری (mM)	نانوذره (ppm)	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه	محتوای آب ریشه
صفر	۰	۰/۹۰ ± ۰/۰۴ de	۰/۰۴ ± ۰/۰ cd	۱۲/۵ ± ۰/۳ bc	۹۲/۹ ± ۰/۵ a
	۱۰۰۰	۱/۱۷ ± ۰/۰۵ bc	۰/۱۲ ± ۰/۰ a	۱۰/۸ ± ۰/۴ de	۸۹/۷ ± ۰/۴ de
	۳۰۰۰	۰/۸۴ ± ۰/۰۱ e	۰/۰۹ ± ۰/۰ a-c	۱۰/۷ ± ۰/۰۸ e	۹۱/۰ ± ۰/۳ cd
۷۵	۰	۱/۰۵ ± ۰/۰۰ c-e	۰/۰۹ ± ۰/۰ a-c	۱۱/۶±۰/۰ c-e	۹۱/۵±۰/۵ a-c
	۱۰۰۰	۱/۱۷ ± ۰/۲۴ bc	۰/۰۸ ± ۰/۰ a-c	۱۲/۵±۰/۳ bc	۹۲/۷±۰/۵ ab
	۳۰۰۰	۱/۴۷ ± ۰/۰۲ a	۰/۱۷ ± ۰/۰ a-c	۱۵/۳±۰/۰۹ a	۸۸/۸±۰/۲ ef
۱۵۰	۰	۰/۹۵ ± ۰/۰۳ c-e	۰/۰۹ ± ۰/۰ a-c	۱۱/۷±۰/۴ cd	۹۰/۶ ± ۰/۲ cd
	۱۰۰۰	۱/۱۲ ± ۰/۰۵ cd	۰/۱۱ ±۰ /۰ cd	۱۳/۰±۰/۰۱ b	۹۰/۶ ± ۰/۶ cd
	۳۰۰۰	۱/۴ ± ۰/۰۵ ab	۰/۱۴ ± ۰/۰ ab	۱۱/۰±۰/۲ de	۹۰/۲ ± ۰/۱ de
۲۲۵	۰	۰/۵۲ ± ۰/۰۵ f	۰/۰۵ ± ۰/۰ d	۱۰/۹ ± ۰/۳ de	۹۱/۲ ± ۰/۱ b-c
	۱۰۰۰	۰/۴۶ ± ۰/۰۵ f	۰/۰۴ ± ۰/۰ b-d	۱۱/۵ ± ۰/۵ c-e	۹۱/۷ ± ۱/۱ a-c
	۳۰۰۰	۱/۰۶ ± ۰/۰۷ c-e	۰/۱۳ ± ۰/۰ cd	۱۱/۶ ± ۰/۶ c-e	۸۸/۱ ± ۰/۳ f

حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است (P≤۰/۰۵).

میزان فلاونوئید در رقم اردستانی در برهمکنش غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

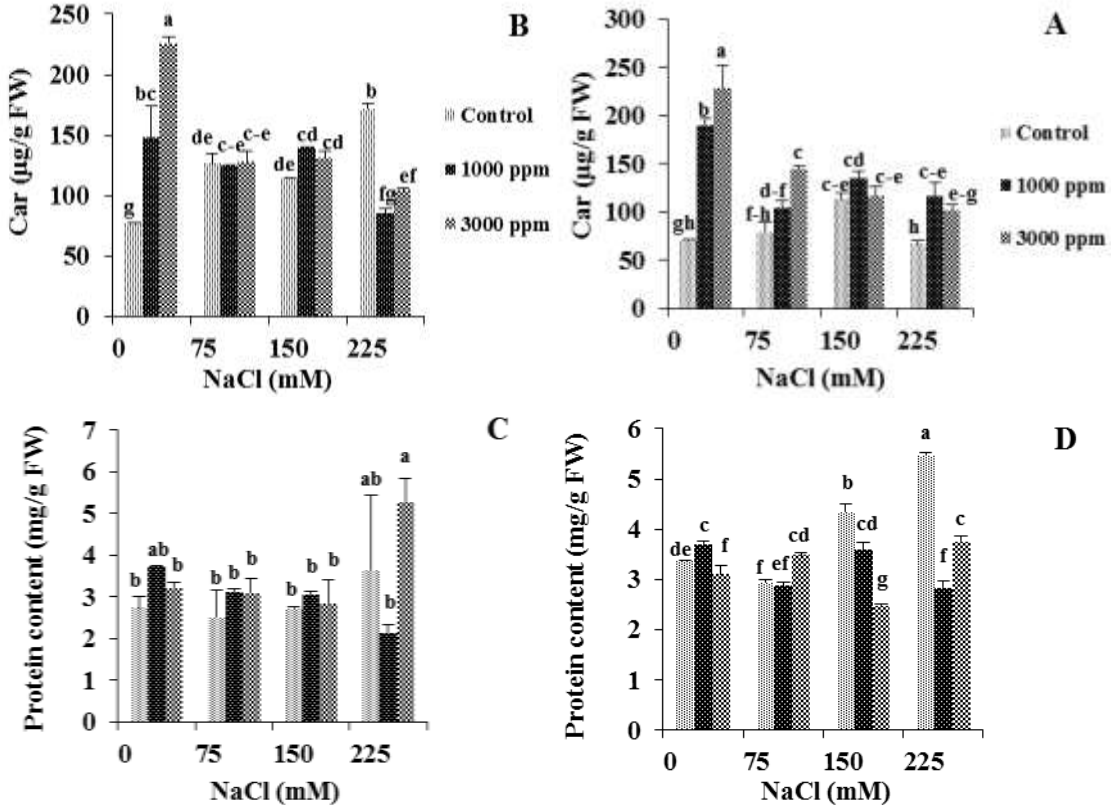
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]



شکل ۱- اثر متقابل نانوذره اکسید روی و شوری سدیم کلرید بر میزان رنگیزه فتوسنتزی [۱- کلروفیل *a* (میکروگرم/گرم وزن تر) در رقم اردستانی (A)، رقم مشهدی (B)، ۲- کلروفیل *b* (میکروگرم/گرم وزن تر در رقم اردستانی (C)، رقم مشهدی (D) و ۳- کلروفیل کل (میکروگرم/گرم وزن تر) در رقم اردستانی (E)، رقم مشهدی (F)] گیاه شنبلیله. میانگین داده‌ها حاصل از سه تکرار و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون توکی است (P≤۰/۰۵).

نانوذره مشاهده شد. در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره موجب افزایش معنی‌دار فلانوئید (P≤۰/۰۵) در رقم مشهدی گردید. همچنین در غلظت ۲۲۵ مولار سدیم کلرید، تیمار با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره میزان فلاونوئید را به‌طور معنی‌داری (P≤۰/۰۵) در رقم مشهدی افزایش داد. غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید موجب کاهش معنی‌دار فنل (P≤۰/۰۵) در هر دو رقم شد. اما غلظت بالای شوری میزان فنل را به‌طور معنی‌داری (P≤۰/۰۵) در رقم مشهدی افزایش داد. در غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار شوری، تیمار با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]



شکل ۲- اثر متقابل نانوذره اکسید روی و شوری کلرید سدیم بر میزان [۱- کاروتنوئید (میکروگرم/گرم وزن تر در رقم اردستانی (A)، رقم مشهدی (B) و میزان پروتئین کل (میلی‌گرم/گرم وزن تر) در رقم اردستانی (C)، رقم مشهدی (D)] گیاه شنبلیله. میانگین داده‌ها حاصل از سه تکرار و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون توکی می‌باشد (P≤۰/۰۵).

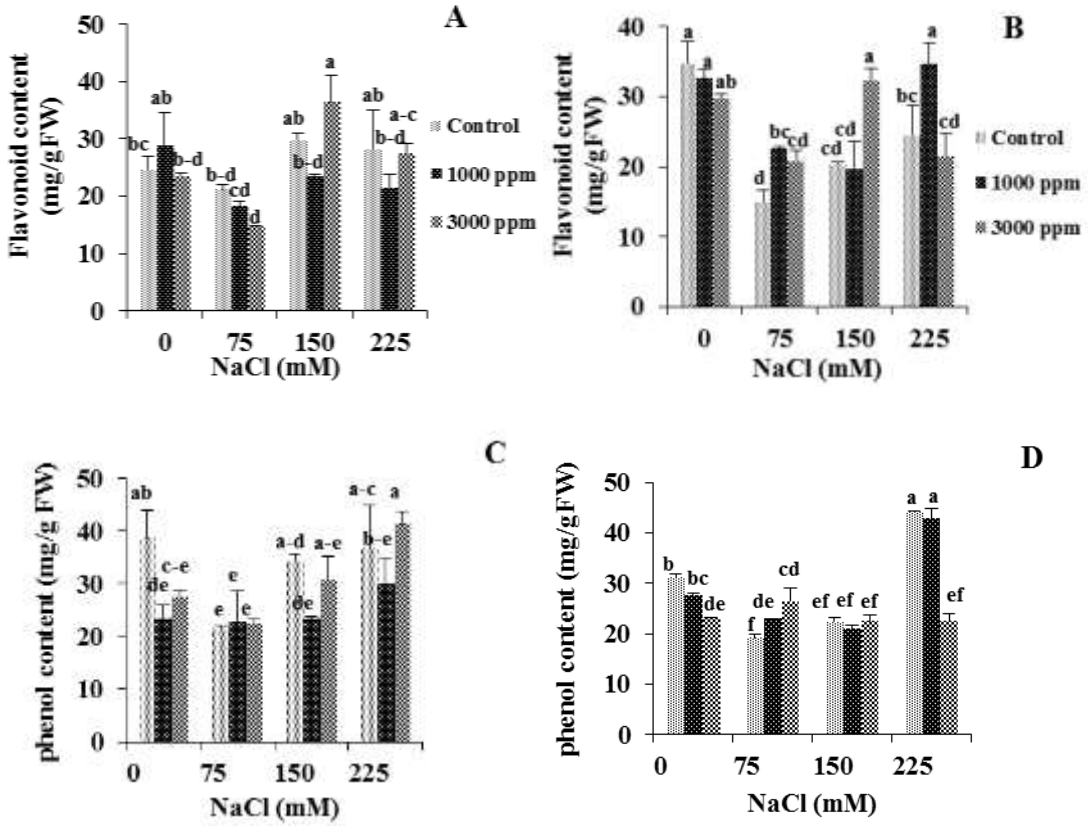
نانوذره موجب کاهش معنی‌دار فنل (P≤۰/۰۵) در رقم مشهدی گردید. بیشترین میزان فنل در رقم اردستانی در برهمکنش غلظت بالای شوری و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مشاهده شد (شکل ۳).

با توجه به شکل ٤ نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که در اثر تنش شوری در رقم مشهدی کاهش معنی‌دار آنتوسیانین (P≤۰/۰۵) مشاهده شد. بیشترین میزان آنتوسیانین در رقم اردستانی مربوط به تیمار شاهد شوری و غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و در رقم مشهدی در برهمکنش غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و غلظت بالای شوری است. در رقم اردستانی، غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید موجب افزایش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) فعالیت مهار DPPH شد. در سایر غلظت‌های سدیم کلرید، تنش شوری تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر فعالیت مهار DPPH نداشت. همچنین، در رقم اردستانی، پایین‌ترین میزان IC_{50} و بنابراین بالاترین فعالیت مهار DPPH مربوط به اثر متقابل غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره است. در رقم مشهدی، بالاترین فعالیت مهار DPPH مربوط به برهمکنش غلظت ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و بالاترین غلظت نانوذره است. به‌علاوه در رقم مشهدی در گیاهانی که تحت تنش شوری بالا بودند، محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره موجب افزایش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) فعالیت مهار DPPH شد (شکل ٤) و (جدول ۳ و ٤).

بحث

در پژوهش حاضر، غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید در رقم مشهدی موجب کاهش معنی‌دار (P≤۰/۰۵) در طول اندام هوایی شد. همچنین، تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار

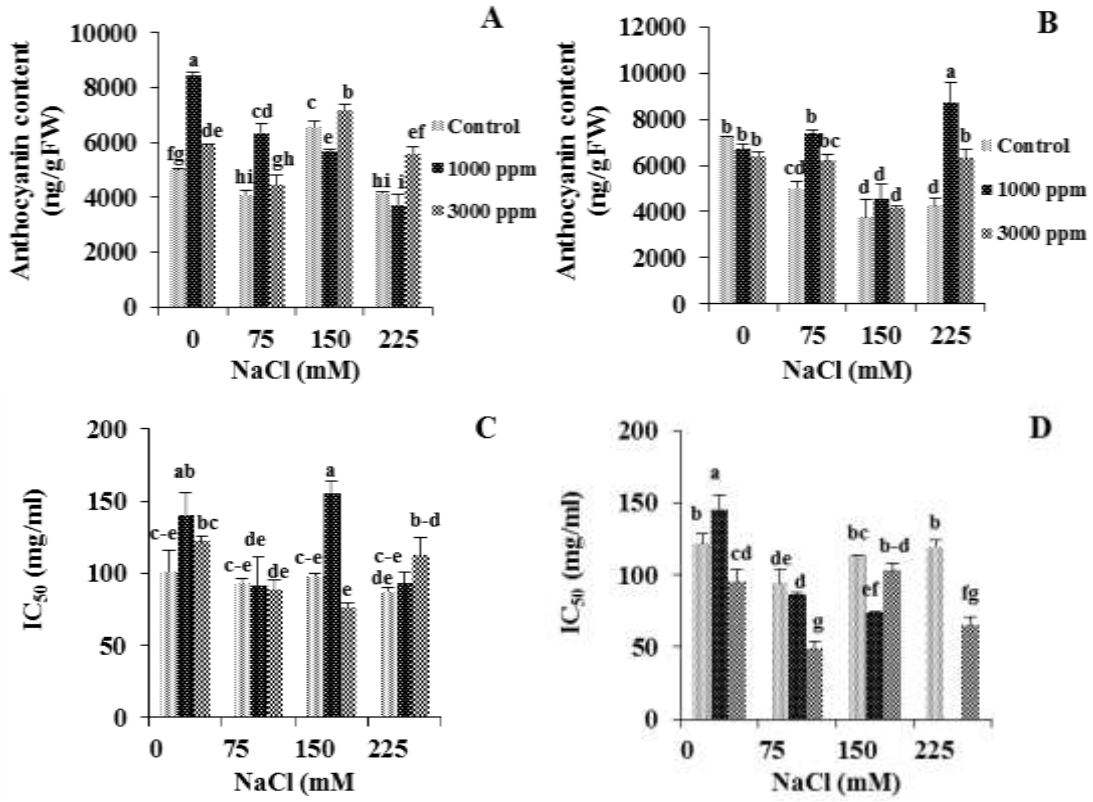
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]



شکل ۳- اثر متقابل نانوذره اکسید روی و شوری سدیم کلرید بر میزان [۱- فلاونوئید (میلی‌گرم/گرم وزن تر در رقم اردستانی (A)، رقم مشهدی (B) و میزان فنل کل (میلی‌گرم/گرم وزن تر) در رقم اردستانی (C)، رقم مشهدی (D)] گیاه شنبلیله. میانگین داده‌ها حاصل از سه تکرار و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون توکی است (P≤۰/۰۵).

(P≤۰/۰۵) در وزن تر اندام هوایی و ریشه و درصد محتوای نسبی آب ریشه در غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید در هر دو رقم اردستانی و مشهدی گردید. تنش شوری، موجب رنگ پریدگی، کاهش در ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی و ریشه در خردل چینی، شنبلیله و کلزا گردیده است. اثرات منفی سدیم کلرید بر رشد و بیوماس گیاه ممکن است به‌علت تنش اسمزی و کاهش جذب عناصر ضروری باشد (Ahmad *et al.*, 2017). کاهش در غلظت روی در برگ‌های خیار تحت تنش شوری مشاهده گردیده است (Torabian *et al.*, 2015). اگر چه عنصر روی در غلظت‌های نسبتاً کم مورد نیاز است، اما نقش عمده در رشد و نمو گیاهان دارد (Soliman *et al.*, 2015). یکی از دلایل سودمندی بیشتر نانوذرات در مقایسه با فرم معمولی عناصر ممکن است به‌علت اندازه کوچک ذرات باشد که موجب افزایش سرعت جذب و انتقال آنها می‌شود (Torabian *et al.*, 2015). در پژوهش حاضر تیمار با نانوذره اکسید روی در رقم مشهدی شنبلیله در معرض غلظت پایین شوری موجب افزایش معنی‌دار طول ریشه شد. بنابراین، کاربرد برگی روی ممکن است یک راه‌حل برای غلبه بر محدودیت ریشه‌ای ایجادشده توسط تنش شوری باشد (Soliman *et al.*, 2015). طی مطالعات قبلی، تیمارهای اسپری برگی نانوذره روی در خیار، آفتابگردان و گندم غلظت سدیم را کاهش، در مقابل، طول و وزن خشک اندام هوایی، مساحت برگی و غلظت روی و آهن و درنتیجه تحمل به شوری را افزایش داده است (Torabian *et al.*, 2015). نانوذرات اکسید روی افزایش قابل توجه در زیست‌توده، رشد ریشه و اندام هوایی، سنتز کلروفیل و تحمل به تنش غیرزیستی در گوجه‌فرنگی، ماش،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]



شکل ٤- اثر متقابل نانوذره اکسید روی و شوری سدیم کلرید بر میزان [۱- آنتوسیانین (نانوگرم/گرم وزن تر در رقم اردستانی (A)، رقم مشهدی (B) و IC50 (میلی‌گرم/میلی‌لیتر) در رقم اردستانی (C)، رقم مشهدی (D)] گیاه شنبلیله. میانگین داده‌ها حاصل از سه تکرار و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون توکی است (P≤۰/۰۵).

نخود، گوآر و خردل ایجاد کرده است (Siddiqui *et al*., 2015; Zuverza-Mena *et al*., 2016). تأثیر مثبت غلظت پایین سایر نانوذرات از قبیل دی‌اکسید سریوم، طلا، نقره، سیلیس، دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد و تولیدمثل و بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی در گوجه‌فرنگی، سویا، اسفناج و خردل چینی گزارش شده است (Ma *et al*., 2013; Rao and Shekawat, 2014).

اثرات مثبت کاربرد روی ممکن است به تأثیر مطلوب این عنصر بر متابولیسم و تأثیر تحریک‌کنندگی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیمی نسبت داده شود که به نوبه خود رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد. براساس مطالعات قبلی، اسپری برگی سولفات روی و تیمار گیاهچه با سولفات روی در ذرت منجر به تخفیف در تنش شوری می‌شود (Ashraf *et al*., 2014; Soliman *et al*., 2015). انتخاب غلظت مناسب نانوذرات بسیار حائز اهمیت است، زیرا غلظت‌های بالای نانوذرات می‌تواند به بافت گیاهی آسیب وارد کند (Torabian *et al*., 2015). در پژوهش حاضر، در رقم اردستانی شنبلیله، کمترین طول ریشه و اندام هوایی در برهمکنش غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره اکسید روی و حداکثر غلظت شوری مشاهده شد. سمیت نانوذرات اکسید روی احتمالاً به‌علت تجزیه نانوذره به یون روی و همچنین اثر وابسته به ذره است (Ma *et al*., 2013). اگر چه توافق عمومی در مورد مکانیسم دقیق سمیت القاشده نانوذرات وجود ندارد، به‌طور کلی پذیرفته شده است که این نوع از سمیت معمولاً با وساطت ROS است (Ma *et al*., 2013). تشکیل ROS، موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی، از هم گسیختگی غشا، نشت یون پتاسیم و افت وضعیت آبی گیاه می‌شود و کاهش در بیوماس گیاهی و کلروزیز برگی را به‌دنبال دارد (Ma *et al*., 2013). اثرات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات متقابل تنش شوری و اکسید روی بر پارامترهای مورفولوژیکی اندام هوایی و ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین، فنل، فلاونوئید، IC50 و پروتئین در رقم اردستانی گیاه شنبلیله. اعداد بیانگر F value هستند.

تیمار	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	طول اندام هوایی	طول ریشه
شوری	۵۶۶/۶۱**	۱۲/۵۹**	۷/۹۵**	۹/۶**	۶/۸۸**	۱۱/۵۹**
نانوذره	۱۴۳/۵۵**	۹/۷۶**	۳/۹۱**	۱۳/۸**	۱۸/۶۴**	۴۵/۷۸**
شوری × نانوذره	۱۰۸/۲۴**	۲/۳۰ns	۹/۴۹**	۸/۵۹**	۴۱/۲۶**	۴/۱۶**
تیمار	درصد آب اندام هوایی	درصد آب ریشه	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کلروفیل کل	کاروتنوئید
شوری	۴۵۶/۴۰**	۸/۴۵**	۲۱۵/۲۵**	۵/۰۳**	۸۵/۴۶**	۶۸/۱۷**
نانوذره	۱۱۱/۵۰**	۱/۱۵ns	۱۲/۴۶**	۴۲/۲۲**	۳۲/۲۱**	۱۲۷/۰۴
شوری × نانوذره	۹۷/۶۲**	۶/۴۴**	۴۲/۷۱**	۹/۴۳**	۲۴/۵۴**	۳۱/۷۵**
تیمار	پروتئین	فلاونوئید	فنل	آنتوسیانین	IC50	
شوری	۳/۷۱*	۲۱/۲۰**	۲۰/۳۶**	۲۴۰/۹۱**	۱۵/۶۹**	
نانوذره	۵/۰۱*	۲/۹۲	۱۴/۱۶**	۹۹/۸۹**	۲۰/۸**	
شوری × نانوذره	۶/۶۲**	۶/۱۴**	۴/۳۴**	۱۲۴/۰۹**	۱۴/۸۱**	

*** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، ** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ns نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن است.**

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات متقابل تنش شوری و اکسید روی بر پارامترهای مورفولوژیکی اندام هوایی و ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین، فنل، فلاونوئید، IC50 و پروتئین در رقم مشهدی گیاه شنبلیله. اعداد بیانگر F value هستند.

تیمار	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	طول اندام هوایی	طول ریشه
شوری	۸۶/۳۶**	۸۰/۷۶**	۲۹/۰۴**	۶۰/۶۰**	۱۲۰/۵۶**	۵۳/۲۵**
نانوذره	۶/۳۷**	۵۱/۹۹**	۵۴/۱۸**	۱۹۲/۸۳**	۳۵/۶۰**	۴/۴۹
شوری × نانوذره	۸/۰۸**	۱۸/۳۲**	۱۱/۸۲**	۳۶/۱۹**	۱۶/۷۱**	۴۷/۲۷**
تیمار	درصد آب اندام هوایی	درصد آب ریشه	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کلروفیل کل	کاروتنوئید
شوری	۱۱/۵۳**	۷/۰۳**	۱۷۲/۹۸**	۲۹/۴۶**	۹۹/۹۵**	۲۰/۴۶**
نانوذره	۷/۰۹**	۵۵/۵۴**	۳۹/۷۹**	۲۶/۰۱**	۴۲/۱۲**	۳۲/۷۰**
شوری × نانوذره	۳/۰۱*	۱۹/۵۶**	۶۱/۰۴**	۸/۷۰**	۳۴/۲۵**	۸۷/۸۱**
تیمار	پروتئین	فلاونوئید	فنل	آنتوسیانین	IC50	
شوری	۱۹۷/۲۲**	۴۳/۵۳**	۲۵۸/۳۷**	۶۴/۷۷**	۱۵۶/۰۶**	
نانوذره	۳۱/۳۹**	۷/۷۰**	۷۲/۹۰**	۴۹/۹۳**	۱۳۰/۰۲**	
شوری × نانوذره	۱۷۹/۲۳**	۱۷/۴۹**	۹۰/۴۲**	۱۸/۳۲**	۹۴/۱۰**	

*** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، ** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ns نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن است.**

مخرب نانوذرات اکسید روی در سویا، لوبیای گرگی، تره‌تیزک آبی و تلخه گزارش شده است (Ma *et al*., 2013; Rao and

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

Shekawat, 2014). تیمار با غلظت‌های بالای نانوذرات اکسید روی موجب کاهش طول ریشه و بیوماس تربچه، خردل، نخود سبز، کدو، کاهو، ذرت، گندم، خیار و پیاز و همچنین کاهش در فعالیت فتوسنتزی تاتوره شده است (Demiral and Turkan, 2005; Zuverza-Mena *et al*., 2016). تیمار با نانوذرات اکسید مس، اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم موجب القا تنش اکسیداتیو، کاهش سطوح اکسین، کاهش رشد و کلروزیز برگی و درنتیجه کاهش وزن تر و خشک گندم و خردل چینی و ذرت گردیده است (Dimpkpa *et al*., 2012; Rao and Shekawat, 2014).

کلروفیل و کاروتنوئید از اجزا اصلی دستگاه فتوسنتزی گیاه هستند (Taibi *et al*., 2016). افزایش در محتوای کلروفیل و کاروتنوئید می‌تواند به‌عنوان شاخص تنش شوری شناخته شود و عنوان شده است که تنش شوری ملایم، تولید کلروفیل و کاروتنوئید را به‌منظور حفظ عملکرد مناسب سیستم فتوسنتزی افزایش می‌دهد. در حقیقت، نقش مفید کاروتنوئیدها به‌علت توانایی آن در اتصال به فتوسیستم I و II در زیر واحدهای مرکز واکنش است و در جذب انرژی نورانی اضافی استفاده شده در انتقال الکترون فتوسنتزی عمل می‌کنند. در پژوهش حاضر، ذخیره کاروتنوئیدها در اندام هوایی با افزایش غلظت شوری در جمعیت مشهدی گیاه شنبلیله ممکن است ناشی از مسیر موالونیک اسید جهت تولید آبسیزیک اسید باشد. در مقابل، کاهش القاشده توسط شوری در محتوای کاروتنوئیدها در لوبیا، ذرت و گندم مشاهده شده است و درنتیجه حفاظت توسط کاروتنوئیدها یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های تحمل به تنش شوری در گیاهان مذکور نبوده است (Taibi *et al*., 2016). غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم نانوذره اکسید روی، کلروفیل *b* را به‌صورت معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) در هر دو رقم افزایش داد. روی در برگ‌ها جهت سنتز کلروفیل مورد نیاز است. اما یون روی اضافی با اتصال به پروتئین‌ها موجب جابجایی سایر یون‌های فلزی از قبیل آهن از جایگاه اتصالی خودشان می‌شود (Pasandi pour *et al*., 2014). نانوذرات اکسید روی، سطح رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) را در بادام زمینی، گوآر، ارزن، نخود سبز، سوبابل و پنبه افزایش داده است. برهمکنش نانوذرات اکسید سیلیکون و کروم موجب افزایش سطوح رنگدانه‌ها در نخودفرنگی گردیده است (Venkatachalam *et al*., 2016b).

در پژوهش حاضر، بالاترین میزان فلاونوئید در رقم اردستانی در برهمکنش غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مشاهده شد. پاسخ‌های آنتی‌اکسیداتیو در مقابل ROS به نوع نانوذره فلزی، گونه گیاهی و شرایط تیمار بستگی دارد. افزایش در محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها و فلاونوئید کارایی خورندگی ROS و سپس تحمل *Brassica junca* را به شوری بهبود بخشیده است (Ahmad *et al*., 2017). در مطالعه حاضر، بیشترین میزان فنل در جمعیت اردستانی، در برهمکنش غلظت بالای شوری و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مشاهده شد. پرایمینگ دانه خردل با نانوذرات اکسید روی، به میزان زیادی رشد گیاهان در معرض تنش را تحریک کرده است که همراه با افزایش سطوح رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای فنل است (Shukla *et al*., 2018). در مطالعه حاضر نشان داده شد که در جمعیت اردستانی، پایین‌ترین میزان IC_{50} و بنابراین بالاترین فعالیت مهار DPPH مربوط به اثر متقابل غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره است. کاربرد برگی نانوذرات اکسید روی و اکسید آهن به‌طور معنی‌داری آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی را در گیاهچه‌های Moringa افزایش داده است (Soliman *et al*., 2015). در رقم مشهدی در گیاهانی که تحت تنش شوری بالا بودند، محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره موجب افزایش معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) فعالیت مهار DPPH گردید. دانه‌های خردل پرایم‌شده با نانوذرات اکسید روی، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی بالا در مقایسه با گیاهان تحت تنش شوری داشته‌اند. احتمالاً روی در بیوسنتز آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی نقش دارد (Ahmad *et al*., 2017). نانوذرات نقره، رشد گیاهچه‌های *Brassica juncea* را به‌واسطه بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی آنها بهبود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

بخشیده است (Sharma *et al*., 2012).

در مطالعه حاضر، غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید، میزان فنل را به‌طور معنی‌داری (P≤۰/۰۵) در رقم مشهدی افزایش داد. Apel و Hirt در سال ۲۰۰۴ علت افزایش محتوای فنلی در گیاهان تحت تنش را چنین بیان نمودند که گروه‌های هیدروکسیل آزاد متصل به حلقه آروماتیک به‌وسیله جاروبگری رادیکال‌ها و سایر سازوکارها از قبیل فروکشی اکسیژن یکتایی و باندشدن یون‌های سمی، آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از یون‌ها را کم کرده و به این ترتیب ساختارهای سیتوپلاسمی و کلروپلاستی را از اثر منفی شوری محافظت می‌کنند (افشار محمدیان و همکاران، ۱۳۹٤). ذخیره ترکیبات فنلی در گیاهان توسط تنش شوری ممکن است به گونه گیاهی بستگی داشته باشد. ترکیبات فنلی در کلم بروکلی و کاهو در پاسخ به تیمار شوری ذخیره نشده‌اند، در صورتی که تیمار سدیم کلرید محتوای فنل را در ذرت و فلفل قرمز و *Brugiera parviflora* افزایش داده است. (علت افزایش ترکیبات فنلی، افزایش فعالیت و میزان آنزیم بیوسنتزکننده فنل‌ها یعنی فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) است (Lim *et al*., 2012; Parida and Das, 2004). در مقابل، تنش شوری موجب کاهش قابل توجه در محتوای فنل در مریم‌گلی گردیده است (Valifard *et al*., 2016).

فلاونوئیدهای آنتوسیانینی از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند. در این پژوهش کاهش معنی‌دار آنتوسیانین در اثر تنش شوری در رقم مشهدی مشاهده شد. کاهش در غلظت آنتوسیانین در تیمار با شوری در گیاه اسطوخودوس، شاهدانه و تربچه نیز گزارش شده است که در این گیاهان احتمالاً سنتز آنتوسیانین به‌دلیل دهیدراته‌شدن آنزیم‌ها مختل گردیده است (روحانی و همکاران، ۱۳۹٤؛ Valizadeh-Kamran *et al*., 2019). کاهش آنتوسیانین‌ها به هنگام تنش شوری ممکن است با گشودن پنجره در رسیدن مقادیر بیشتری از پرتوهای فعال فتوسنتزی به سلول‌های مزوفیل مؤثر باشد، زیرا بخش اعظم آنتوسیانین‌ها در لایه‌های سطحی مزوفیل و اپیدرم برگ‌ها انباشته می‌شوند (چاپارزاده و زرندی میاندوآب، ۱۳۹۰). در تحقیق حاضر، بیشترین میزان آنتوسیانین در رقم اردستانی مربوط به غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و در رقم مشهدی در برهمکنش غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و غلظت بالای شوری است. نانوذرات نقره، بیشترین سطوح ذخیره آنتوسیانین را در گیاهچه‌های آرابیدوپسیس القا کرده‌اند (Khan *et al*., 2016).

یکی از مکانیسم‌های مهم متأثرشده توسط تنش شوری در گیاهان، سنتز پروتئین است. شوری موجب تغییرات در بیان ژن و الگوی پروتئین در طی مراحل نمو گیاه می‌شود و محتوای پروتئین محلول، یک شاخص مهم در ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان است. غلظت پایین شوری، سنتز پروتئین را در مراحل اولیه نمو ذرت، شنبلیله و گوجه‌فرنگی القا کرده است، اما افزایش غلظت شوری منجر به کاهش در محتوای پروتئین در گیاهان مذکور شده است. کاهش در محتوای پروتئین به‌علت افزایش در فعالیت آنزیم پروتئاز و پراکسیداسیون پروتئین‌ها تحت تأثیر گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر است (Pasandi pour *et al*., 2014). در مقابل، افزایش در محتوای پروتئین در آرابیدوپسیس تالیانا، خردل و کولتیوار برنج متحمل به شوری در غلظت‌های بالای شوری گزارش شده است که در توافق با افزایش معنی‌دار پروتئین در غلظت‌های بالای شوری در رقم مشهدی شنبلیله در پژوهش حاضر است. براساس گزارشات، تنش شوری قادر است میزان پروتئین‌های محلول را در لگوم‌ها براساس درجه تحمل به تنش شوری افزایش یا کاهش دهد (Pasandi pour *et al*., 2014; Siddiqui *et al*., 2015).عنصر روی به‌عنوان پایدارکننده پروتئین‌ها، غشاها و پروتئین‌های متصل‌شونده به DNA و جز ساختاری آنزیم‌ها است (Shukla *et al*., 2018; Soliman *et al*., 2015). حضور نانوذرات در سلول‌های گیاهی مشابه رفتار یون‌های فلزی با گروه‌های سولفیدریل و کربوکسیل بوده و در نتیجه، محتوای پروتئین را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shukla *et al*., 2018; Venkatachalam *et al*., 2016a). کاربرد روی، آسیب ایجادشده توسط تنش شوری را به میزان قابل ملاحظه‌ای به‌علت اثرات مثبت عنصر روی بر بهبود جذب و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

کده‌بندی عناصر تغذیه‌ای مهم، افزایش تولید اکسین و در نتیجه فعال‌کردن تقسیم و توسعه سلولی، حفظ تمامیت غشا، ذخیره فسفولیپیدها، بهبود سنتز پروتئین، جاروب‌کنندگی رادیکال‌های آزاد و محدودکردن جذب سدیم و کلر کاهش می‌دهد (Ahmad *et al*., 2017). نانوذرات اکسید روی سبب بهبود عمده در سنتز پروتئین در گوآر می‌شود (Siddiqui *et al*., 2015). تیمار با نانوذرات اکسید روی موجب کاهش پروتئین کل در یونجه می‌شود، اما کاهش مذکور از نظر آماری معنی‌دار نیست. در پژوهش دیگری، تیمارهای یونی کاهش معنی‌دار در محتوای پروتئین در تیمار با کلرید روی در یونجه ایجاد کرده است (Bandyopadhyay *et al*., 2015). در مطالعه حاضر، در اثر متقابل نانوذره اکسید روی و غلظت‌های بالای شوری در رقم مشهدی، کاهش معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) در محتوای پروتئین کل مشاهده شد. احتمالاً یون روی اضافی هنگامی که به پروتئین‌ها متصل می‌شود، جانشین سایر یون‌های فلزی از قبیل آهن در جایگاه‌های اتصالی می‌شود و درنتیجه سمیت ایجاد می‌کند (Pasandi pour *et al*., 2014)

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق به‌طور کلی نشان‌دهنده پاسخ‌های متفاوت شنبلیله به تنش شوری در غلظت‌های مختلف سدیم کلرید است که به نوع رقم نیز بستگی دارد. در این مطالعه، حضور نانوذره روی در اغلب موارد اثرات منفی تنش شوری بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه شنبلیله را تعدیل نموده است که این موضوع به نوع رقم و غلظت نانوذره بستگی کامل دارد. ارزیابی کلی این تحقیق نشان‌دهنده این است که رقم اردستانی دارای مقاومت بیشتری نسبت به تنش شوری و سمیت غلظت بالای نانوذرات است و غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره دارای تأثیر بیشتری بر مقاومت به تنش شوری در هر دو رقم است.

منابع

افشار محمدیان، م.، ابراهیمی نوکنده، س. و جمال امیدی، م. (۱۳۹٤) اثر سطوح مختلف شوری بر برخی آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی سه رقم بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۲٤: ۷۵-۵۱.

چاپارزاده، ن. و زرندی میاندوآب، ل. (۱۳۹۰) اثر شوری بر محتوای رنگدانه‌ها و رشد دو رقم گیاه کلزا (*Brassica napus*). زیست شناسی گیاهی ۹: ۲٦-۱۳.

روحانی، س. ن.، سید حسین نعمتی، س. ن.، محمد مقدم، م. و اردکانیان، و. (۱۳۹۵) اثر تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیک و چگونگی جذب عناصر سدیم و پتاسیم در اندام هوایی و غده سه رقم تربچه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲۷: ۱۷۸-۱٦۹.

Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., Egamberdieva, D., Bhardwaj, R. and Ashraf, M. (2017) Zinc application mitigates the adverse effects of NaCl stress on mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern and Coss] through modulating compatible organic solutes, antioxidant enzymes, and flavonoid content. Journal of Plant Interactions 12: 429-437.

Ashraf, M. Y., Iqbal, N., Ashraf, M. and Akhter, J. (2014) Modulation of physiological and biochemical metabolites in salt stressed rice by foliar application of zinc. Journal of Plant Nutrition 37: 447-457.

Bandyopadhyay, S., Plascencia-Villa, G., Mukherjee, A., Rico, C. M., Jose-Yacaman, M., Peralta-Videa, J. R. and Gardea-Torresdey, J. L. (2015) Comparative phytotoxicity of ZnO NPs, bulk ZnO, and ionic zinc onto the alfalfa plants symbiotically associated with in soil. Science of the Total Environment 516: 60-69.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M. and Chern, J. C.(2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis 10: 178-182.

Demiral, T. and Turkan, I. (2005) Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environmental and Experimental Botany 53: 247-257.

Dimpkpa, C. O., McLean, J. E., Latta, D. E., Manangon, E., Britt, D. W., Johnson, W. P., Boyanov, M. I. and Anderson, A. J. (2012) CuO and ZnO nanoparticles: phytotoxicity, metal speciation, and induction of oxidative stress in sand-grown wheat. Journal of Nanoparticle Research 14: 1-15.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

Hatamian, M. and Salehi, H. (2017) Physiological characteristics of two rose cultivars (Rosa hybrida L.) under different levels of shading in greenhouse conditions. Journal of Ornamental Plants 7: 147-155.

Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z. K., AlMutairi, K. A. and Siddiqui, Z. H. (2016) Role of nanomaterials in plants under challenging environments. Plant Physiology and Biochemistry 110: 194-209.

Lee, M. H., Cho, E. J., Wi, S. G., Bae, H., Kim, J. E., Cho, J. Y., Lee, S., Kim, J. H. and Chung, B. Y. (2013) Divergences in morphological changes and antioxidant responses in salt-tolerant and salt-sensitive rice seedlings after salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 70: 325-335.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Lim, J. H., Park, K. J., Kim, B. K., Jeong, J. W. and Kim, H. J. (2012) Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. Food Chemistry 135: 1065-1070.

Ma, H., Williams, P. L. and Diamond, S. A. (2013) Ecotoxicity of manufactured ZnO nanoparticles. A review. Environmental Pollution 172: 76-85.

Parida, A. K. and Das, A. B.(2004) Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Pasandi Pour, A., Farahbakhsh, H. and Saffari, M. (2014) Response of fenugreek to short-term salinity stress in relation to lipid peroxidation, antioxidant activity and protein content. Ethno-Pharmaceutical Products 1: 45-52.

Plessi, M., Bertelli, D. and Albasini, A. (2007) Distribution of metals and phenolic compounds as a criterion to evaluate variety of berries and related jams. Food Chemistry 100: 419-427.

Rao, S. and Shekhawat, G. S. (2014) Toxicity of ZnO engineered nanoparticles and evaluation of their effect on growth, metabolism and tissue specific accumulation in *Brassica juncea.* Journal of Environmental Chemical Engineering 2: 105-114.

Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M. G. H., Saradhi, P. P., Khanna, P. K. and Arora, S. (2012) Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*. Applied Biochemistry and Biotechnology 167: 2225-2233.

Shukla, P. K., Shukla, S., Rajoriya, P. and Misra, P. (2018) Enhancing crop productivity in saline environment using nanobiotechnology. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2: 289-302.

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M. and Al-Khaishany, M. Y. (2015) Role of nanoparticles in plants. In: Nanotechnology and Plant Sciences: Nanoparticles and their Impact on Plants. (eds. Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H. and Firoz, M.) Pp. 19-35. Springer International Publishing, Switzerland.

Soliman, A. S., EL-feky, S. A. and Darwish, E. (2015) Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers. Journal of Horticulture and Forestry 7: 36-47.

Taibi, K., Taibi, F., Abderrahim, L. A., Ennajah, A., Belkhodja, M. and Mulet, J. M. (2016) Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. South African Journal of Botany 105: 306-312.

Tepe, B., Sokmen, M., Akpulat, H. A. and Sokmen, A. (2006) Screening of the antioxidant potentials of six salvia species from Turkey. Food Chemistry 95: 200-204.

Torabian, S., Zahedi, M. and Khoshgoftar, A. H. (2015) Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. Journal of Plant Nutrition 39: 172-180.

Valifard, M., Mohsenzadeh, S. and Kholdebarin, B. (2016) Salinity effects on phenolic content and antioxidant activity of *Salvia macrosiphon*. Iranian Journal of Science and Technology 41: 295-300.

Valizadeh-Kamran, R., Mehrabani, L. V. and Pessarakli, M. (2019) Effects of foliar application of methanol on some physiological characteristics of *Lavandula stoechas* L. under NaCl salinity conditions. Journal of Plant Nutrition 42: 1-9.

Venkatachalam, P., Jayaraj, M., Manikandan, R., Geethaa, N., Reneb, E. R., Sharma, N. C. and Sahi, S. V. (2016a) Zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) alleviate heavy metal-induced toxicity in *Leucaena leucocephala* seedlings: A physiochemical analysis. Plant Physiology and Biochemistry 110: 59-69.

Venkatachalam, P., Priyanka, N., Manikandan, K., Ganeshbabu, I., Indiraarulselvi, P., Geethaa, N., Muralikrishna, K., Bhattacharyab, R. C., Tiwari, M., Sharma, N. and Sahi, S. V. (2016b) Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Plant Physiology and Biochemistry 110: 118-127.

Wagner, G. J. (1979) Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. Plant Physiology 64: 88-93.

Zuverza-Mena, N., Martinez-Fernandez, D., Du, W., Hernandez-Viezcas, J. A., Bonilla-Bird, N., Lopez-Moreno, M. L., Komarek, M., Peralta-Videa, J. R. and Gardea-Torresdey, J. L. (2016) Exposure of engineered nanomaterials to plants: Insights into the physiological and biochemical responses. A review. Plant Physiology and Biochemistry 110: 236-264.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]

An investigation of the application of ZnO nanoparticle on morphological and physiological parameters of two cultivars of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under salinity stress

Zahra Noohpisheh [1], Hamzeh Amiri [1*], Abdelnaser Mohammadi gholami [1], Saeed Farhadi [2]
[1] Department of Biology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorram abad, Iran
[2] Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran
(Received: 18/05/2019, Accepted: 20/08/2019)

Abstract

Salinity stress is one of the environmental factors that limits plant growth and development and has negative effects on morphological and physiological parameters of plants. Therefore, various compounds have been used to reduce the harmful effects of this stress. According to previous studies, metal nanoparticles have both negative and positive effects on different plant species. The aim of this study was to investigate interaction effects of different concentrations of ZnO nanoparticle and NaCl on morphological parameters, photosynthetic pigments and protein content in Ardestanian and Mashhadian cultivar of Fenugreek. Factorial experiment was performed in a completely randomized design with three replications and three levels of ZnO nanoparticle (0, 1000 and 3000 ppm) and four levels of NaCl (0, 75, 150 and 225 mM) were used. The results showed that salinity stress significantly decreased shoot and root fresh weight, as well as the percentage of relative root water content at 225 mM NaCl in both cultivars. The highest fresh weight of shoot in Mashhadian cultivar was observed in the interaction of 75 mM NaCl and 1000 ppm of ZnO nanoparticle. In general, ZnO nanoparticles improved fresh and dry weight in both cultivars. In Ardestanian cultivar, the highest amount of phenol was observed in the concentration of 3000 ppm of nanoparticle and 225 mM NaCl, also, the highest flavonoid content was observed in the interaction of 3000 ppm of nanoparticle and 150 mM NaCl. The highest photosynthetic pigments were observed at interaction of 75 mM NaCl and 3000 ppm of nanoparticle in two cultivars. Also, Increasing the concentration of nanoparticle led to a significant increase in carotenoids in both cultivars. The most antioxidant activity based on IC_{50} was in Mashhadian cultivar and in the interaction of 225 mM NaCl and 3000 ppm of nanoparticle. The results of this study showed that the application of ZnO nanoparticle under salt stress improved plant growth.

Keywords: Morphological parameters, Nonenzymatic antioxidants, Photosynthetic pigments, Salinity stress, ZnO nanoparticle

Corresponding author, Email: Amiri.h@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.24.5]