فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۳، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۳۴۱-۳۵۶
https://doi.org/10.22034/13.63.341

مقاله پژوهشی

تأثیر نانو مس بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه مورینگا (*Moringa oleifera*) در شرایط شوری

مهسا عامری[۱]، منصوره شمیلی[۱*]، وحید روشن سروستانی[۲] و مصطفی قاسمی[۳]
[۱] گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
[۲] هیأت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران
[۳] هیأت علمی، بخش زراعی باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰)

چکیده
مورینگا اولیفرا، گیاهی دارویی، سریع رشد و چند ساله که تقریباً در تمام مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر رشد می‌کند و می‌تواند طیف گسترده‌ای از شرایط بارندگی را تحمل کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوذرّه مس (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm) بر خصوصیات فیزیولوژیکی و محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه مورینگا تحت شوری کلرید سدیم (صفر، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. بر اساس یافته‌ها، میزان نشت‌یونی تحت تیمار شوری، افزایش یافت و تیمار با نانومس از این مشخصه کاست. به‌طوریکه، بیشترین (۷۵/۰۱ ٪) و کمترین (۳۸/۶۲ ٪) میزان نشت‌یونی به ترتیب در بالاترین سطح شوری بدون اعمال نانوذرّه و تیمار شاهد (بدون تنش شوری و عدم اعمال نانوذرّه) ثبت شد. نتایج حاکی از افزایش آنتوسیانین، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ مورینگا تحت تیمار گیاهان با آب شور و نانومس بود. از این‌رو، تحت شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۰ پی‌پی‌ام نانومس، بیشترین میزان آنتوسیانین (۴/۶۸ میکرومول در گرم وزن تازه)، فنل (۴۵/۶۴ میلی‌گرم اسید گالیک در صد گرم وزن خشک)، فلاونوئید (۴/۷۴ میلی‌گرم کوئرستین در صد گرم وزن خشک) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۸۶/۷۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) بدست آمد. بررسی فیتوشیمیایی ترکیبات عصاره برگ نشان داد که شوری باعث کاهش اسید کافئیک و اسید کلروژنیک گردید، درحالیکه محلول‌پاشی با نانومس باعث افزایش آنها شد. بنابراین، بیشترین مقادیر اسید کافئیک در سطوح مختلف نانومس تحت تیمار بدون شوری و کمترین مقدار (۱/۰۹ میلی‌گرم در لیتر) در بالاترین سطح شوری بدون اعمال نانومس، ثبت شد. همچنین بیشترین مقدار اسید کلروژنیک (۲۲/۵ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار بدون شوری با اعمال ۲۰ پی‌پی‌ام نانوذره و کمترین میزان آن (۲/۶ میلی‌گرم در لیتر) تحت ۷/۸ دسی‌زیمنس بر متر نمک بدون حضور نانومس مشاهده شد. به‌طورکلی، نانومس با افزایش ترکیبات دخیل در بیوسنتز آنتی‌اکسیدان‌ها و سایر صفات فیزیولوژیکی و همچنین متابولیت‌های ثانویه گیاه مورینگا، موجب افزایش تحمل آن به تنش شوری شد.

کلمات کلیدی: شوری، فلاونوئید، فنل، محلول‌پاشی، مورینگا، نانومس

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: shamili@ut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

مقدمه

مورینگا اولیفرا (*Moringa oleifera* L. 2n=14)، از تیره مورینگاسه (Moringaceae)، از گیاهانی است که تقریباً در تمام مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر رشد می‌کند، هر چند بومی هند، افغانستان، بنگلادش و پاکستان است (Kashyap *et al.*, 2022; Pareek *et al.*, 2023). این گیاه می‌تواند طیف گسترده‌ای از شرایط بارندگی سالانه (از ۲۵۰ میلی‌متر تا بیش از ۳۰۰۰ میلی‌متر) و pH (۵ تا ۹) را تحمل کند (Tiloke *et al.*, 2016). مورینگا درختی سریع‌الرشد و چند ساله است. این درخت با ساقه کوتاه و مستقیم رشد می‌کند، ساقه به طور معمول صاف است که ارتفاع آن قبل از شروع شاخه‌زایی به ۱/۵ تا ۲ متر می‌رسد. قطر آن در وسط درخت به ۴۰-۲۰ سانتی‌متر می‌رسد (Gandji *et al.*, 2018). پوست درخت سفید مایل به خاکستری است. شاخه‌های کشیده به‌صورت نامرتب رشد می‌کنند و سایبانی چتری تشکیل می‌دهند. برگ‌های شانه‌ای مضاعف، مرکّب از برگچه‌های کوچک و متقابل است. گل‌ها دوجنسی، به قطر ۲/۵ سانتی‌متر و در خوشه‌های جانبی و آویزان به طول ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر تولید می‌شوند. دارای پنج کاسبرگ نیزه‌ای شکل، پنج گلبرگ باریک و قاشقی شکل و پنج پرچم است. میوه، غلاف سه بخشی که به صورت کپسول از شاخه‌ها آویزان می‌شود، به طول ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر و حالت سه وجهی دارد. بذر گرد، مایل به قهوه‌ای و با میانگین وزن ۰/۳ گرم است (Gandji *et al.*, 2018; Leone *et al.*, 2015).

بذر و میوه مورینگا حاوی ترکیبات گلیکوزیدی ضدتومور و ضدالتهابی نیازیمیسین (Niazimicine)، نیازیرین (Niazirin) و گلوکومورینگین (Glucomoringin) است (Pareek *et al.*, 2023; Salhab *et al.*, 2023). برگ مورینگا حاوی گلیکوزیدهای کوئرستین (Quercetin)، کامفرول (Kaempferol)، پیرول آلکالوئید (Pyrrole alkaloid)، بنزیل کاربامات (Benzylcarbamate) و تیوکاربامات (Thiocarbamate) است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند (Fantoukh *et al.*, 2019; Muteeb *et al.*, 2023).

از پیامدهای گرمایش جهانی، تغییر اقلیم، آلودگی‌های صنعتی و استفاده بی‌اندازه از کودها چالش شوری آب و خاک است (Ullah *et al.*, 2023). از عمده‌ترین آثار شوری در گیاهان بروز تنش اسمزی، سمیت یونی و متعاقباً کاهش تقسیم‌سلولی و جذب آب، اختلال در جذب عناصر و متابولیسم نیتروژن، بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز است (Shabala and Pottosin, 2014). اما گیاهان، از آسیب‌های تنش شوری، با تنظیم مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی و تغییر در میزان متابولیت‌های ثانویه اجتناب می‌کنند (Rahman *et al.*, 2019).

نانوذرات، که قطر منفذ کمتری نسبت به قطر منفذ دیواره سلولی دارند، به راحتی می‌توانند از منافذ دیواره‌سلولی عبور کنند (Nair *et al.*, 2010). البته درجه اثربخشی یا اثرات سمی نانوذرات با توجه به ساختار شیمیایی، اندازه، سطح، واکنش‌پذیری، نوع گونه گیاهی و مهم‌تر از همه غلظت استفاده شده، تعیین می‌شود (Khan *et al.*, 2017; Siddiqui *et al.*, 2015).

مس جز ساختمانی برخی آنزیم‌های گیاهی نظیر سیتوکروم‌اکسیداز، اسید آسکوربیک اکسیداز و لاکتاز است که در فتوسنتز، متابولیسم پروتئین و کربوهیدرات ایفای نقش می‌کند. کمبود عنصر مس به دلیل افت فتوسنتز، کاهش وزن اندام‌ها و اختلال در باروری گیاه، کاهش عملکرد را در پی دارد (فاجریا، ۱۳۹۰). مس و نانومس، در حد بهینه، در کاهش اثرات مضرّ شوری در گیاهان، از طریق بهبود روابط آبی، فتوسنتز، تغذیه، تنظیم دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش اسیدهای‌آمینه، مؤثر بوده است (Iqbal *et al.*, 2018; Shaw *et al.*, 2014; Pinedo-Guerrero *et al.*, 2017).

از آنجا که شوری از تنش‌های مخرب بر گیاه مورینگا است، ارائه روش مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضرّ آن می‌تواند مؤثر باشد. گزارشی در مورد بهبود تحمل به تنش شوری از طریق تیمار با نانومس در مورینگا وجود ندارد. بنابراین، هدف از این تحقیق، مطالعه اثر شوری و نانو کود مس بر ویژگی‌های فیزیولوژیک (نشت یونی، محتوای فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) و ترکیبات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

فیتوشیمیایی در گیاه مورینگا است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد گیاهی و اعمال تیمارها: تحقیق حاضر طی شهریور ماه ۱۴۰۰ تا تیر ماه ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای شیشه‌ای واقع در روستای کوشک هزار در شهرستان بیضاء استان فارس (۴۰ کیلومتری شمال غربی شیراز) به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد. بذر گیاه مورینگا رقم هندی از شرکت طلایه‌داران هرمزگان تهیه (۶ شهریور ۱۴۰۰) و پس از جوانه‌زنی (دو هفته بعد از کاشت) و رشد کافی، نهال‌های شش‌ماهه، سالم و عاری از بیماری (ارتفاع حدود ۶۰ سانتی‌متر) جهت اعمال تیمارها مورد استفاده قرار گرفتند (نیمه اسفند ۱۴۰۰). نهال‌ها در گلدان‌های پلاستیکی (ارتفاع و قطر دهانه به‌ترتیب ۵۵ و ۴۵ سانتی‌متر) دارای زهکش، کشت شدند. بستر مورد استفاده برای کاشت نهال‌ها، ترکیب خاک باغچه، خاک برگ و ماسه (۱:۱:۱) بود. گیاهان در دمای متوسط روزانه ۲±۲۳ و شبانه ۲±۱۹ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۶۰ درصد و نور خورشید نگهداری شدند. تیمار شوری، شش ماه پس از استقرار نهال‌ها در گلدان آغاز شد (اواخر اسفند ۱۴۰۰).

نمک مورد استفاده کلرید سدیم (NaCl) (Merck, Germany) در آب‌مقطر حل و مقادیر صفر، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر نمک به‌عنوان تیمار شوری (از طریق آب آبیاری و هفته‌ای سه بار)، در نظر گرفته شد (Soliman *et al.*, 2015). تیمار با آب‌مقطر به عنوان تیمار صفر دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از تجمّع بیش‌ازحدّ نمک در گلدن‌ها، هر دو هفته یک‌بار آب‌شویی انجام شد. تیمار شوری، هشت هفته به‌طول انجامید و پس از آن گلدان‌ها تا یک هفته با آب‌مقطر آبیاری شدند (Pashangah *et al.*, 2020). در هر نوبت آبیاری، رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. طی مدت اعمال تیمار، همه گیاهان با محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند.

نانوذرّه مس مورد استفاده در این آزمایش از شرکت نانوسانی (مشهد، ایران)، خریداری شد. میانگین اندازه ذرّات نانومس ۴۰ نانومتر، چگالی ظاهری ۰/۲۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، چگالی واقعی ۸/۹ گرم در سانتی‌متر مکعب و شکل تقریباً کروی بود. تیمار محلول‌پاشی شاخ و برگ با نانومس (صفر، ۱۰ و ۲۰ ppm) دوبار (سه و پنج هفته بعد از شروع تیمار شوری به ترتیب ۲۰ فروردین ۱۴۰۱ و اول اردیبهشت ۱۴۰۱) انجام شد (Tabatabaee *et al.*, 2021). گیاهان تیمار شده با نمک صفر دسی‌زیمنس بر متر (آب‌مقطر) و محلول‌پاشی شده با تیمار صفر نانومس (آب‌مقطر) به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. هشت هفته پس از اتمام تنش شوری (تیر ماه ۱۴۰۱)، صفات زیر در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اندازه‌گیری شد.

نشت یونی برگ: برای این منظور از روش Shiferaw و Baker (۱۹۹۶) استفاده گردید. از هر بوته چند برگ در موقعیت یکسان جدا، قطعات دایره‌ای توسط سوراخ‌کن جدا شد و در لوله‌های درب‌دار حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر قرار داده و پس از انکوبه‌کردن (۲۴ ساعت، دمای اتاق)، هدایت الکتریکی محلول (EC_1) اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی محلول پس از یک ساعت انکوبه‌کردن در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مجدداً اندازه‌گیری (EC_2) و درصد نشت یونی از رابطه زیر محاسبه شد.

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

آنتوسیانین برگ: بدین منظور یک گرم برگ در هاون‌چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی ساییده و پس از سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰دقیقه)، جذب روشناور توسط اسپکتروفتومتر (طول‌موج‌های ۵۳۰ نانومتر) خوانده شد. محتوای آنتوسیانین برگ بر حسب میکرومول در گرم وزن تر بیان شد (Masukasu *et al.*, 2003).

فنل برگ: جهت تعیین میزان محتوای فنل، یک گرم برگ در هاون ساییده و ۴ میلی‌لیتر حلال (۸۵ درصد متانول و ۱۵ درصد اسید استیک) افزوده و پس از انکوبه‌کردن در شرایط آزمایشگاه (۲۴ ساعت)، سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) شدند. سپس به ۳۰ میکرولیتر از روشناور، ۹۰ میکرولیتر آب‌مقطر و ۶۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد افزوده و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

پس از اضافه‌کردن ۴۸۰ میکرولیتر کربنات سدیم، مجدداً انکوبه (۲ ساعت، شرایط تاریکی، دمای اتاق) شدند. در نهایت جذب عصاره در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه میکروپلیت ریدر(مدل Epoch ساخت شرکت بیوتک آمریکا) خوانده شد. مقدار فنل بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن خشک گزارش شد (Waterhouse, 2002).

فلاونوئید برگ: برای این منظور، مقدار نیم گرم برگ به همراه ۳ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد در هاون چینی همگن و سپس سانتریفیوژ (۶۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه) شد. پس از آن به ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره رقیق‌شده با آب‌مقطر (۱:۱)، ۶۰۰ میکرولیتر متانول، ۴۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم (۱۰ درصد)، ۴۰ میکرولیتر استات پتاسیم (یک مولار) و ۱۱۲۰ میکرولیتر آب‌مقطر اضافه و ۱۰ ثانیه ورتکس شد. پس از انکوبه‌کردن (۴۰ دقیقه، تاریکی، دمای اتاق)، جذب عصاره در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. محتوای فلاونوئید با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و بر حسب میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن خشک بیان شد (Braca *et al.*, 2002).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: بدین منظور، ۰/۲گرم از برگ خشک‌شده در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد، آسیاب شد. سپس به آن ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد افزوده، ورتکس و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد. بعد از سانتریفیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه)، روشناور جدا شد. سپس به ۱۰۰ میکرولیتر از روشناور، ۹۰۰ میکرولیتر از محلول ۲،۲–دی‌فنیل–۱–پیکریل هیدرازیل (DPPH) به میزان ۵۰۰ میکرومولار به اتانول افزوده شد. پس از مخلوط‌کردن، به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریک قرار گرفت و در نهایت جذب عصاره توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر خوانده و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره از رابطه زیر محاسبه شد (Daferera *et al.*, 2000).

$$\text{درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی} = \left(1 - \frac{\text{جذب نمونه}}{\text{جذب شاهد}}\right) \times 100$$

بررسی فیتوشیمیایی ترکیبات عصاره برگ: جهت تهیه عصاره، ۲۵ گرم برگ پس از جمع‌آوری و تمیزکردن، در دمای اتاق و دور از نور خورشید، خشک شد و سپس با آسیاب برقی پودر شد. جهت تهیه عصاره اتانولی، دو گرم پودر برگ با ۱۲۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد (نسبت حجمی/ وزنی ۱:۱۰)، در بالن ریخته شد. سپس بالن درون حمام روغن و تحت شرایط تقطیر برگشتی قرارداده شد. عصاره‌گیری توسط کلونجر به مدت ۳ ساعت ادامه یافت. بعد از اتمام این فرایند عصاره بدست آمده توسط تقطیرکننده دوّار (Heidolph) تغلیظ شد (دغاغله و همکاران، ۱۴۰۰). در ادامه ۱۲/۵ میلی‌گرم از عصاره را در ۲۵ میلی‌لیتر اتانول حل نموده و میزان متابولیت‌های ثانویه در حضور محلول شاهد مورد بررسی قرار گرفت. جداسازی و شناسایی ترکیبات عصاره با استفاده از دستگاه HPLC (Agilent Technologies, 1200 series, Germany) انجام شد. درصدهای نسبی هر یک از ترکیب‌های تشکیل‌دهنده عصاره با توجه به سطح زیر منحنی آن‌ها در کروماتوگرام به دست آمد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل سه گلدان) اجرا شد. فاکتورها شامل آبیاری با آب‌شور (صفر، ۳/۹، ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر) و نانومس (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌لیتر در لیتر) بود. نرمال‌بودن داده‌ها با روش Shapiro-Wilk صورت گرفت. آزمون دانکن برای مقایسه میانگین ($P < 0.01, 0.05$) انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS Ver.9.4 انجام شد. همچنین شکل‌ها با کمک برنامه اکسل (نسخه ۲۰۱۶) ترسیم شدند.

نتایج و بحث

داده‌های بدست آمده از جدول ۱ نشان داد که اثر شوری و نانومس بر فنل کل، فلاونوئید، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. با این حال، اثر شوری و نانومس بر نشت یونی به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد، معنی‌دار شد. علاوه‌براین، برهمکنش شوری و نانومس بر همه صفات بجز فعالیت آنتی‌اکسیدانی، معنی‌دار (در سطح ۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

جدول ۱- تأثیر سطوح شوری و نانومس بر صفات فیزیولوژیک گیاه مورینگا

منابع تغییر	درجه آزادی	نشت یونی	فنل کل	فلاونوئید	آنتوسیانین	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
شوری	۳	۲۰۵۵/۸۱**	۱۴۰۷/۲۲**	۱۷/۷۰**	۱۱/۲۹**	۵۴۵۷/۵۰**
نانو مس	۳	۳۱/۶۷*	۷۹/۶۶**	۰/۷۸**	۲/۸۴**	۲۴۳/۷۳**
شوری × نانو مس	۹	۲۲/۶۸*	۷/۷۵*	۰/۱۵*	۰/۶۰**	۱۱/۱۹ ns
خطا	۳۲	۷/۵۱	۲/۸۸	۰/۰۷	۰/۱۷	۷/۵۰
ضریب تغییرات	۳	۴/۸۳	۵/۹۸	۹/۵۴	۱۴/۰۶	۴/۹۵

***، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و عدم معنی‌داری در آزمون دانکن است.**

درصد) بود.

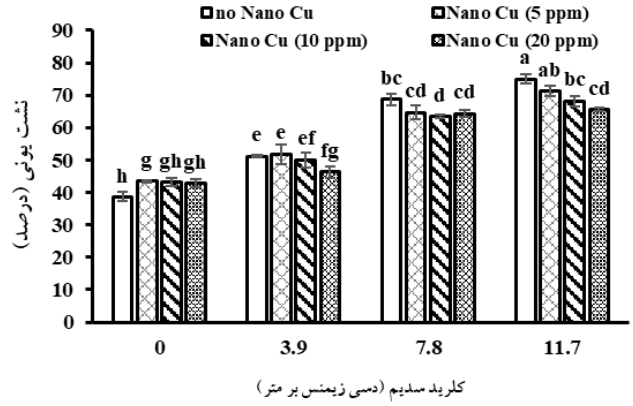
نشت یونی: نتایج مربوط به ثبت صفت نشت یونی در گیاهان مورینگا، ارتباط مستقیم بین مقادیر صفت مذکور و افزایش سطح نمک را نشان داد. به‌عبارتی، تیمار با نمک با افزایش در میزان نشت یونی همراه بود و محلول‌پاشی با نانو ذرات مس از میزان این صفت در هر تیمار کاست. بیشترین میزان نشت یونی (۷۵/۰۱ درصد) به گیاهان تیمارشده با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر که نانومس دریافت نکرده بودند تعلّق داشت. کمترین مقدار این صفت (۳۸/۶۲ درصد) در گیاهانی که تیمار نمک و نانومس را دریافت نکرده بودند، مشاهده شد. در واقع، نانومس باعث کاهش نشت یونی گردید و این کاهش در گیاهانی که با نمک تیمارنشده بودند، ۱۰ درصد و در گیاهانی که با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر مواجه شده بودند، ۱۲/۵ درصد بود. تیمار با آب شور ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر افزایش ۴۹ درصدی و محلول‌پاشی با ۲۰ ppm از نانومس افزایش ۳۴ درصدی را در این صفت نشان داد (شکل ۱).

غشای سلولی یکی از نقاط هدف در بسیاری از تنش‌های محیطی، ازجمله شوری، به شمار می‌رود (Tanveer, 2020). انواع رادیکال‌های تولیدشده در شرایط تنش می‌توانند به ترکیبات سلول مانند لیپیدهای غشا، پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها حمله کنند. این فرآیند ویژگی‌هایی چون سیالیت غشاء، انتقال یونی، فعالیت آنزیمی و سنتز پروتئین‌ها را کاهش داده و باعث مرگ سلولی شوند (Noohpisheh *et al.*, 2021). تخریب غشاهای سلولی تحت تأثیر تنش شوری و افزایش نشت یونی در گیاه کلزا *Brassica napus* (Farhoudi, 2011) و بادرشبو *Dracocephalum moldavica* (اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۳۹۹)، همسو با یافته‌های این تحقیق در خصوص افزایش نشت یونی در گیاهان مورینگا تیمارشده با نمک است. نانوذرّات با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها (آنزیمی و غیر آنزیمی) (Ahmed *et al.*, 2021)، حفظ کارایی دستگاه فتوسنتزی (از طریق از حفظ رطوبت، جذب مواد مغذی و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی)، کاهش تجمع پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید از نشت یونی در گیاهان مواجه شده با تنش می‌کاهند (Adrees *et al.*, 2020; Ahmed *et al.*, 2021). تیمار گیاهان ذرّت *Zea mays* (Noman *et al.*, 2021) و گوجه‌فرنگی *Solanum lycopersicum* (Al-Shemmary *et al.*, 2020) با نانوذرّات مس در خاک شور نیز با کاهش نشت یونی همراه بوده است. مس، به‌عنوان بخشی از ایزوفرم سوپراکسید دیسموتاز، ایفای نقش می‌کند (Lwalaba *et al.*, 2020). تیمار با نانومس در طی تنش شوری، احتمالاً با تولید آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد، منجر به کاهش نشت یونی می‌گردد (Shaw *et al.*, 2014).

آنتوسیانین، فنل و فلاونوئید: یافته‌های این تحقیق به تأثیر افزایشی آب‌شور و محلول‌پاشی با نانومس بر میزان آنتوسیانین مورینگا دلالت داشت. در واقع تیمار گیاهان با آب‌شور منجر به افزایش میزان آنتوسیانین شد. البته محلول‌پاشی با انو مس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

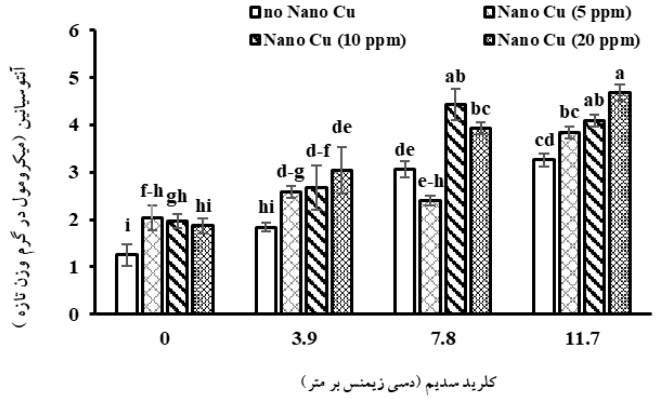


شکل ۱- برهمکنش شوری و نانومس بر نشت یونی مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن (P< 0.01) است.

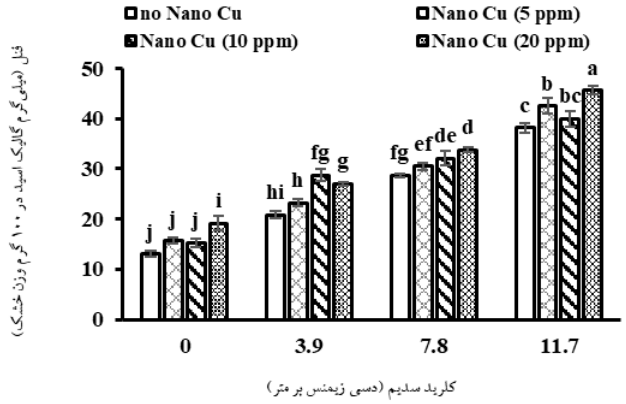
نیز بر محتوای این رنگدانه در برگ افزود. بیشترین محتوای این رنگدانه (۴/۶۸ میکرومول در گرم وزن تازه) در گیاهان آبیاری‌شده با آب شور ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر که با نانومس ۲۰ ppm تیمار شده بودند، مشاهد شد. از طرفی، کمترین مقدار این رنگدانه (۱/۲۵ میکرومول در گرم وزن تازه) به گیاهانی که تیمار شوری یا نانومس را دریافت نکرده بودند، تعلق داشت. در گیاهان تیمارشده با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر، محلول‌پاشی با نانومس، آنتوسیانین را ۳۰ درصد افزایش داد (شکل ۲). یافته‌های این تحقیق، همچنین بر افزایش دو ترکیب فنل و فلاونوئید در تیمار با آب‌شور و محلول‌پاشی با نانومس دلالت داشت. بیشترین میزان فنل (۴۵/۶۴ میلی‌گرم اسید گالیک در صد گرم خشک) و فلاونوئید (۴/۷۴ میلی‌گرم کوئرستین در صد گرم وزن خشک) به گیاهان تیمارشده با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و محلول‌پاشی‌شده با نانومس ۲۰ ppm تعلق داشت. در حالیکه کمترین میزان فنل (۱۳/۰۴ میلی‌گرم اسید گالیک در صد گرم وزن خشک) در زمان عدم وجود تنش و عدم تیمار نانومس مشاهده شد. کمترین میزان فلاونوئید (۱/۰۹ میلی‌گرم کوئرستین در صد گرم وزن خشک) به شرایط عدم وجود شوری، اما محلول‌پاشی‌شده با نانومس ۱۰ ppm تعلق داشت. در شرایط عدم شوری، نانومس (۲۰ ppm) میزان فنل و فلاونوئید را به ترتیب ۳۲ و ۴۰ درصد افزایش داد. در شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر نیز، همین سطح از نانومس، محتوای فنل و فلاونوئید را ۴۴ و ۲۳ درصد افزایش داد (شکل ۳ و ۴).

اختلال در فرآیندهای متابولیک ناشی از شوری باعث افزایش آنتوسیانین، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی می‌شود (AbdElgawad *et al.*, 2016). براساس نتایج این تحقیق، میزان آنتوسیانین، فنل و فلاونوئید با افزایش شوری افزایش یافت و با کاربرد غلظت‌های مختلف نانومس در طی تنش، میزان سه صفت مذکور افزایش بیشتری نشان داد. به گزارشی، شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش زیست‌توده و افزایش محتوای فنل در گیاه مورینگا همراه بوده است (Nouman *et al.*, 2012). در گل ختمی (*Hibiscus sabdariffa*)، نیز شوری باعث افزایش آنتوسیانین و فنل گردیده است (Hashemi and Shahani, 2019). آنتوسیانین‌ها دسته بزرگی از رنگدانه‌های محلول در آب و مسئول رنگ‌گیری برخی گل‌ها و میوه‌ها هستند (Eryılmaz, 2006). وجود آنتوسیانین‌ها به عنوان یک مولکول آنتی‌اکسیدان در ریشه، ساقه و به خصوص بافت برگ ممکن است به گیاه اجازه دهد تا در برابر تنش‌های محیطی مقاومت کند (Hashemi and Shahani, 2019). آنتوسیانین‌ها ورود یون‌های سدیم و کلر را به واکوئل‌ها و جمع‌آوری آن‌ها از قسمت‌های دیگر را، تسهیل می‌کنند. این رنگدانه به عنوان سیستم حفاظتی گیاه از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری می‌کند (Mittler, 2002). فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی عمدتاً ناشی از ویژگی اکسیداسیون–احیاء آن‌ها، جذب و خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد (Oldoni *et al.*, 2019) و بیوسنتز

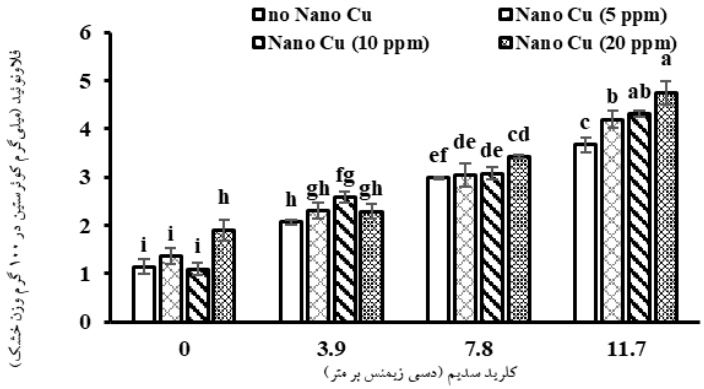
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]



شکل ۲- برهمکنش شوری و نانومس بر آنتوسیانین مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن (P< 0.01) است.



شکل ۳- برهمکنش شوری و نانومس بر فنل مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن (P< 0.01) است.



شکل ۴- برهمکنش شوری و نانومس بر فلاونوئید مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن (P< 0.01) است.

متابولیت‌های ثانویه (از مسیر اسید شیکیمیک و یا فنیل پروپانوئیدها) است (Swieca, 2016). همچنین فنل‌ها به‌دلیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل آن‌ها قادر به اتصال به آهن هستند و در نتیجه یون‌های آهن را، با کلات‌کردن آن‌ها، غیرفعال کرده و سطح سوپراکسید ناشی از واکنش فنتون (Fenton reaction) (طی این فرآیند H_2O_2 تولیدشده توسط میتوکندری در حضور یون‌های آهن، به OH رادیکال تبدیل می‌شود) به‌عنوان منبع اصلی رادیکال‌های آزاد را، کاهش می‌دهند (Pan *et al.*, 2022). بنابراین افزایش در محتوای فنل گیاهان باعث حفظ ساختارهای سیتوپلاسمی و کلروپلاستی می‌گردد (Apel and Hirt, 2004). فلاونوئیدها نیز، به‌طور مستقیم با ایجاد واکنش‌های احیایی و از بین بردن رادیکال‌های آزاد، یا به طور غیرمستقیم با کلاته‌کردن آهن، از استرس اکسیداتیو جلوگیری (Chung *et al.*, 2019) و فعالیت‌های آنزیمی را تنظیم می‌کنند (Pandey *et al.*, 2012). همسو با نتایج ما، نانوذرّات مس محتوای فنل و فلاونوئید را در گیاه گوجه‌فرنگی افزایش داده است (Lopez-Vargas *et al.*,2018; Juarez-Maldonado *et al.*, 2016). در بررسی تیمار همزمان تنش شوری و محلول‌پاشی نانوذرّات مس در گیاه گوجه‌فرنگی، افزایش در محتوای فنل (Perez-Labrada *et al.*, 2019) و در گیاه فلفل (*Capsicum annuum* 'Jalapeno') افزایش در محتوای فنل و فلاونوئید (Pinedo-Guerrero *et al.*, 2017) گزارش شده است. استفاده از نانوکلات آهن در گیاه بادرنجبویه (*Mellisa officinalis*) تحت تنش شوری بر محتوای آنتوسیانین اثر مثبت داشته است (Moradbeygi *et al.*, 2020). افزایش مقدار فلاونوئید و فنل در گیاهان پس از تیمار با نانوذرّات به افزایش بیان ژن‌های دخیل در مسیر فنیل پروپانوئید، جذب گوگرد و بیوسنتز گلوتاتیون نسبت داده شده است (Nourozi *et al.*, 2019; Nair and Chung, 2014).

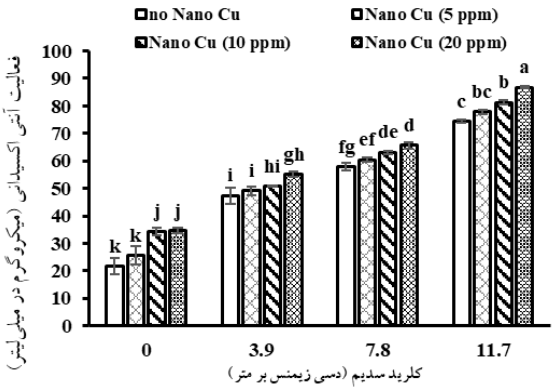
فعالیت آنتی‌اکسیدانی: نتایج آشکار ساخت که تیمار گیاهان با آب شور و نانوکود مس، روندی افزایشی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ مورینگا به همراه دارد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۸۶/۷۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) در ترکیب تیمار شوری ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و محلول‌پاشی با ۲۰ ppm نانومس مشاهده شد. در حالیکه کمترین میزان، در گیاهان تیمار شاهد (عدم وجود شوری و عدم محلول‌پاشی نانومس) و گیاهان محلول‌پاشی شده با ۵ ppm نانومس به دست آمد. در شرایط عدم شوری، محلول‌پاشی با ۲۰ ppm نانومس، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تا ۳۸ درصد افزایش داد. همین سطح از محلول‌پاشی در گیاهان تیمارشده با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش ۱۴ درصدی در این صفت نشان داد (شکل ۵).

کاربرد نانوذرّات فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها را نیز تحریک می‌کند، که به نوبه خود رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد (Perez-Labrada *et al.*, 2019). این فعال‌سازی سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی مبتنی بر نانوذرات، ناشی از اندازه کوچک نانوذرات و سهولت عبور آن‌ها از موانع سلولی از طریق تعامل الکترواستاتیک با غشای پلاسما است (Noman *et al.*, 2021). همانند یافته‌های ما، گزارش‌های سایر محققان نیز حاکی از اثربخشی تیمار با نانو مس بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان بوده است. از جمله تیمار گیاهان چای (*Camellia sinensis*) (Ghanbari *et al.*, 2022)، ذرّت (Noman *et al.*, 2021) و گوجه‌فرنگی (Hernandez-Fuentes *et al.*, 2017; Perez-Labrada *et al.*, 2019) کشت‌شده در خاک شور با نانوذرات مس که با افزایش در صفت مذکور همراه بوده است. این افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به تیمار مس، به بهبود تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهی با عملکرد آنتی‌اکسیدانی و دفاعی نسبت داده شده است (Selvakesavan *et al.*, 2023). به علاوه، مهمترین پروتئین مبتنی بر مس، پلاستوسیانین موجود در کلروپلاست است که به انتقال الکترون در لومن تیلاکوئید، که واسطه فتوسنتز در گیاهان است، کمک می‌کند (Iqbal *et al.*, 2018). همچنین نانوذرات فلزات می‌توانند کارایی سیستم‌های فتوسنتزی و تولید انرژی شیمیایی آن‌ها را بیش تحریک کنند، زیرا کلروفیل در مرکز واکنش با نانوذرات فلزی ترکیب می‌شود و سیستمی ترکیبی و منحصر به فرد را تشکیل می‌دهد که الکترون‌های برانگیخته بیشتری تولید می‌کند (Essa *et al.*, 2021).

بررسی فیتوشیمیایی ترکیبات عصاره برگ: جدول‌های ۲ و ۳ ترکیب‌های شناسایی‌شده در عصاره برگ مورینگا را نشان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]



شکل ۵- برهمکنش شوری و نانومس بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن ($P< 0.01$) است.

جدول ۲- ترکیبات برگ گیاهان مورینگا تیمارشده با شوری صفر و ۳/۹ دسی‌زیمنس بر متر

ترکیبات (میلی‌گرم در لیتر)	نمک ۳/۹ دسی‌زیمنس بر متر				فاقد نمک				زمان بازداری (دقیقه)
	نانومس ۲۰ ppm	نانومس ۱۰ ppm	نانومس ۵ ppm	بدون نانو مس	نانو مس ۲۰ ppm	نانومس ۱۰ ppm	نانومس ۵ ppm	بدون نانو مس	
اسید سیناپیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۶/۵
اسید گالیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۳/۳
کتچین	–	–	–	–	–	–	–	–	۸/۳
اسید کافئیک	–	–	–	–	۴۵/۰۹	۳۷/۸۰	۳۴/۰۹	۳۲/۶	۱۱/۶
کوئرستین	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۱/۶
پارا اسید کوماریک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۵/۶
کومارین	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۷/۴
کارواکرول	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۸/۴
وانیلین	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۳/۵
ترنس اسید فرولیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۶/۳
هسپریدین	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۸/۵
اسید الاژیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۹/۰۲
اوژنول	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۳/۷
هسپریتین	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۲/۴
اسید رزمارینیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۹/۲
تیمول	۷/۹۴	–	۳/۵۴	–	–	–	–	–	۲۸/۹
اسید کلروژنیک	۱۸/۲	۱۳/۱۷	۷/۶	۴/۲۳	۲۲/۵	۱۲/۷۶	۱۱/۴۰	۱۰/۲	۱۰/۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

جدول ۳- ترکیبات برگ گیاهان مورینگا تیمارشده با نمک ۷/۸ و ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر

ترکیبات (میلی‌گرم در لیتر)	نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر				نمک ۷/۸ دسی‌زیمنس بر متر				زمان بازداری (دقیقه)
	نانو مس ۲۰ ppm	نانومس ۱۰ ppm	نانومس ۵ ppm	بدون نانو مس	نانو مس ۲۰ ppm	نانومس ۱۰ ppm	نانومس ۵ ppm	بدون نانو مس	
اسید سیناپیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۶/۵
اسید گالیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۳/۳
کتچین	–	–	–	–	–	–	–	–	۸/۳
اسید کافئیک	۲۶/۶	۷/۹۳	۳/۲۹	۱/۰۹	۲۴/۶۸	۱۳/۸۱	۲/۱۷	۲/۳	۱۱/۶
کوئرستین	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۱/۶
پارا اسید کوماریک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۵/۶
کومارین	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۷/۴
کارواکرول	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۸/۴
وانیلین	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۳/۵
ترنس اسید فرولیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۶/۳
هسپریدین	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۸/۵
اسید الاژیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۹/۰۲
اوژنول	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۳/۷
هسپریتین	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۲/۴
اسید رزمارینیک	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۰/۲
تیمول	–	–	۱/۸۲		۳/۳۷	–	–	–	۲۸/۹
اسید کلروژنیک	۱۴/۰	۹/۲۵	۷/۶	۵/۴۰	۷/۶۸	۳/۹۶	۳/۲۲	۲/۶	۱۰/۵

می‌دهند. بر اساس دو جدول مذکور، اسید کافئیک و اسید کلروژنیک ترکیب اصلی عصاره برگ بودند. تیمار با نمک باعث کاهش اسید کافئیک و اسید کلروژنیک گردید، درحالیکه محلول‌پاشی با نانومس باعث افزایش این دو ترکیب شد. بیشترین مقادیر اسید کافئیک (به ترتیب ۴۵/۰۹، ۳۷/۸۰، ۳۴/۰۹ و ۳۲/۶ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط عدم تنش شوری و در گیاهان تیمارشده با سطوح صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm نانومس مشاهده شد. کمترین میزان این ترکیب (۱/۰۹ میلی‌گرم در لیتر) نیز به گیاهان تیمارشده با بالاترین سطح نمک که نانومس دریافت نکرده بودند، تعلق داشت. کمترین میزان اسید کلروژنیک (۲/۶ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار شوری ۷/۸ دسی‌زیمنس بر متر و عدم محلول‌پاشی نانومس و بیشترین میزان آن (۲۲/۵ میلی‌گرم در لیتر) در عدم وجود شوری در گیاهانی که با بالاترین سطح نانومس تیمار شده بودند، به‌دست آمد (جدول ۲ و ۳).

علاوه بر سیستم آنتی‌اکسیدانی، متابولیت‌های ثانویه اختصاصی هر گیاه نیز نیز با خاموش‌کردن رادیکال‌های آزاد، عملکرد کلی آنتی‌اکسیدانی گیاه را تقویت می‌کنند (Azeem *et al.*, 2023; Zainab *et al.*, 2021; Bajwa *et al.*, 2021). اسیدهای فنولیک غالب موجود در قسمت‌های مختلف مورینگا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

شامل اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، اسید کوماریک و اسید الاژیک است. گلیکوزیدها (کوئرستین و کامفرول) و فلاونول‌های میرستین، روتین و اپی‌کاتچین نیز در مورینگا در مقادیر بسیار کمتر یافت شده‌اند (Amaglo *et al.*, 2010; Saini *et al.*, 2016; Ma *et al.*, 2020). اسید هیدروکسی سینامیک، یکی از ترکیبات عمده از اسیدهای فنولیک است که معمولاً در گیاهان یافت می‌شود. مشتقات اصلی اسید هیدروکسی سینامیک شامل اسید فرولیک، اسید کافئیک، اسید پاراکوماریک، اسید کلروژنیک، اسید سیناپیک و اسید رزمارینیک هستند. اسید کافئیک یکی از رایج‌ترین اسیدهای فنولیک است که از هیدروکسیله‌شدن اسید پاراکوماریک بیوسنتز می‌شود و به‌طور گسترده در برخی مواد گیاهی نظیر توت‌ها و قهوه وجود دارد. اسید کلروژنیک نوع استری اسید کافئیک و اسید کوئینیک است که در گیاهان، میوه‌ها و سبزیجات به ویژه در قهوه، سیب و گلابی موجود است (Chaowuttikul *et al.*, 2020; Teixeira *et al.*, 2013). این ترکیبات اثرات مفید مختلفی بر سلامتی از جمله خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهاب، ضددیابت و ضدسرطان نشان می‌دهند (Meinhart *et al.*, 2019).

محلول‌پاشی نانوذرّات مس (۱/۰ گرم در لیتر) در گیاهان نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) درصد اسانس را ۲۰ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش داد. این نشان می‌دهد که نانوذرّات مس می‌توانند تولید متابولیت‌های ثانویه خاص نظیر روغن‌های ضروری را افزایش دهند (Selvakesavan *et al.*, 2023). در کشت ریشه استویا *Stevia rebaudiana* نیز، افزایش حداکثر محتوای فنل (۱۷/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و فلاونوئید (۴/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار با نانوذرّات مس (۳۰ میکروگرم در لیتر) مشاهده شد، که حاکی از توانایی نانوذرّات مس در تحریک بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه ارزشمند در گیاهان است (Ghazal *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

تیمار گیاهان با آب شور و نانومس، روندی افزایشی در نشت یونی، آنتوسیانین، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ مورینگا به همراه داشت. علی‌رغم اینکه محتوی آنتوسیانین، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت بالاترین سطوح شوری و نانومس، به حداکثر مقدار رسیدند، حداکثر میزان نشت یونی در بالاترین سطح شوری بدون اعمال نانومس ثبت شد. همچنین بررسی فیتوشیمیایی ترکیبات عصاره برگ حاکی از آن بود که شوری موجب کاهش اسید کافئیک و اسید کلروژنیک گردید. با این‌حال، حداقل مقدار ترکیبات مذکور به ترتیب در سطوح بالا و متوسط شوری مشاهده شد. در مقابل، محلول‌پاشی با نانومس باعث افزایش این دو ترکیب شد. به‌طورکلی اطلاعات بدست‌آمده دلالت بر تأثیر سطوح مختلف نانومس در تقلیل اثر شوری بر صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه مورینگا دارد. لذا، می‌توان ادعا کرد که غلظت مصرفی نانوذرّه در پژوهش‌های مبنی بر اثر تنش‌های غیرزیستی بر گیاهان، حائز اهمیت است.

منابع

اسماعیل‌پور، بهروز، شیخعلی‌پور، مرتضی، و ترابی گیکلو، موسی (۱۳۹۹). تأثیر نانوذرّات روی بر رشد، برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد اسانس .*Dracocephalum moldavica* L در شرایط تنش شوری. *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، *۳۶*(۵)، ۸۸۴-۸۶۷.

دغاغله، سعید، کیاست، علیرضا، صفی‌الدین اردبیلی، سید محمد، و میرزاجانی، رویا (۱۴۰۰). ارزیابی روش‌های مختلف استخراج ترکیبات فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ مورینگا الیفرا. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، *۱۲۱*(۱۸)، ۱۶۳-۱۷۲.

رستمی، قادر، مقدم، محمد، قاسمی پیربلوطی، عبدالله، و تهرانی‌فر، علی (۱۳۹۹). اثر سولفات و نانوذرّات آهن و روی بر زیست‌توده،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

مقدار و ترکیبات روغن‌های اسانسی نعناع فلفلی تحت تنش شوری. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۳(۳)، ۶۰۷-۶۲۱.

فاجریا، ان. کا. (۱۳۹۰) کاربرد مواد معدنی در تغذیه گیاهان زراعی. ترجمه کامکار، بهنام، صفاهانی لنگرودی، علیرضا، محمدی، روزبه، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

AbdElgawad, H., Zinta, G., Hegab, M. M., Pandey, R., Asard, H., & Abuelsoud, W. (2016). High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in Maize seedlings organs. *Frontiers in Plant Science, 7*, 276. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00276

Adrees, M., Khan, Z. S., Ali, S., Hafeez, M., Khalid, S., ur Rehman, M. Z., Hussain, A., Hussain, K., Chatha, S. A. S., & Rizwan, M. (2020). Simultaneous mitigation of cadmium and drought stress in wheat by soil application of iron nanoparticles. *Chemosphere*, *238*, 124681. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124681

Ahmed, T., Noman, M., Manzoor, N., Shahid, M., Abdullah, M., Ali, L., Wang, G., Hashem, A., Al-Arjani, A. B. F., Alqarawi, A. A., Abd_Allah, E. F., & Li, B. (2021). Nanoparticle-based amelioration of drought stress and cadmium toxicity in rice via triggering the stress responsive genetic mechanisms and nutrient acquisition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *209*, 111829. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111829

Al-Shemmary, N. I., Al-Alwani, B. A., & Kadhim, R. E. (2020). Effect of copper nanopartical and magnetized salty water in chlorophylls and carotenoids content of Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, *14*(2), 1090-1096. https://doi.org/10.37506/ijfmt.v14i2.3052

Amaglo, N. K., Bennett, R. N., Curto, R. B. L., Rosa, E. A., Turco, V. L., Giuffrida, A., Curto, A. L., Crea, F., & Timpo, G. M. (2010). Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L. grown in Ghana. *Food Chemistry*, *122*(4), 1047-1054. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.073

Apel, K. & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, *55*, 373-399. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701

Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., Yang, S., Dong, R., Ali, B., & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, *13*(1), 2895. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29954-6

Bajwa, M. N., Bibi, A., Idrees, M. Z., Zaman, G., Farooq, U., & Bhatti, T. T. (2021). Elicitation, a mechanistic approach to change the metabolic pathway of plants to produce pharmacological important compounds in in-vitro cell cultures. *Global Journal of Engineering Sciences, 8*, 1-7. http://dx.doi.org/10.33552/GJES.2021.08.000678

Braca, A., Sortino, C., Politi, M., Morelli, I., & Mendez, J. (2002). Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniaeflora*. *Journal of Ethnopharmacology*, *79*(3), 379-381. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00413-5

Chaowuttikul, C., Palanuvej, C., & Ruangrungsi, N. (2020). Quantification of chlorogenic acid, rosmarinic acid, and caffeic acid contents in selected Thai medicinal plants using RP-HPLC-DAD. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *56*, 1-13. http://dx.doi.org/10.1590/s2175-97902019000317547

Chung, I. M., Rajakumar, G., Subramanian, U., Venkidasamy, B., & Thiruvengadam, M. (2019). Impact of copper oxide nanoparticles on enhancement of bioactive compounds using cell suspension cultures of *Gymnema sylvestre* (Retz.) R. *Br. Applied Sciences, 9*(10), 2165. https://doi.org/10.3390/app9102165

Daferera, D. J., Ziogas, B. N., & Polissiou, M. G. (2000). GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(6), 2576-2581. https://doi.org/10.1021/jf990835x

Eryılmaz, F. (2006). The relationships between salt stress and anthocyanin content in higher plants. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, *20*(1), 47-52. https://doi.org/10.1080/13102818.2006.10817303

Essa, H. L., Abdelfattah, M. S., Marzouk, A. S., Shedeed, Z., Guirguis, H. A., & El-Sayed, M. M. (2021). Biogenic copper nanoparticles from *Avicennia marina* leaves: Impact on seed germination, detoxification enzymes, chlorophyll content and uptake by wheat seedlings. *PlOS One*, *16*(4), e0249764. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249764

Fantoukh, O. I., Albadry, M. A., Parveen, A., Hawwal, M. F., Majrashi, T., Ali, Z., & Khan, I. A. (2019). Isolation, synthesis, and drug interaction potential of secondary metabolites derived from the leaves of miracle tree (*Moringa oleifera*) against CYP3A4 and CYP2D6 isozymes. *Phytomedicine*, *60*, 153010. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2019.153010

Farhoudi, R. (2011). Evolution effect of salt stress on growth, antioxidant enzymes activity and malondealdehaid concentration of canola verities. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *9*(1), 123-130. doi.10.22067/GSC.V9I1.10504

Gandji, K., Chadare, F. J., Idohou, R., Salako, V. K., Assogbadjo, A. E., & Glele, R. L. K. (2018). Status and utilisation of *Moringa oleifera* Lam: A review. *African Crop Science Journal*, *26*, 137-156.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

https://doi.org/10.4314/acsj.v26i1.10

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P., & Moradi-Lat Mahaleh, R. (2022). Evaluation of leaf yield, physiological and biochemical characteristics of Green Tea (*Camellia sinensis* L.) in response to different irrigation regimes and foliar application of Cu and Zn nano-Chelate. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, *5*(1), 28-43. https://doi.org/10.22070/hpn.2022.14601.1140

Ghazal, B., Saif, S., Farid, K., Khan, A., Rehman, S., Reshma, A., Fazal, H., Ali, M., Ahmad, A., Rahman, L., & Ahmad, N. (2018). Stimulation of secondary metabolites by copper and gold nanoparticles in submerge adventitious root cultures of *Stevia rebaudiana* (Bert.). *IET Nanobiotechnology*, *12*(5), 569-573. https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2017.0093

Hashemi, A. & Shahani, A. (2019). Effects of salt stress on the morphological characteristics, total phenol and total anthocyanin contents of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Plant Physiology Reports*, *24*, 210-214. https://doi.org/10.1007/s40502-019-00446-y

Hernandez-Fuentes, A. D., Lopez-Vargas, E. R., Pinedo-Espinoza, J. M., Campos-Montiel, R. G., Valdes-Reyna, J., & Juarez-Maldonado, A. (2017). Postharvest behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with Cu nanoparticles and NaCl stress. *Applied Sciences*, *7*(10), 980. https://doi.org/10.3390/app7100980

Iqbal, M. N., Rasheed, R., Ashraf, M. Y., Ashraf, M. A., & Hussain, I. (2018). Exogenously applied zinc and copper mitigate salinity effect in maize (*Zea mays* L.) by improving key physiological and biochemical attributes. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*, 23883-23896. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2383-6

Juarez-Maldonado, A., Ortega-Ortiz, H., Perez-Labrada, F., Cadenas-Pliego, G., & Benavides-Mendoza, A. (2016) .Cu nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *89*, 183-189. DOI:10.5073/JABFQ.2016.089.023

Kashyap, P., Kumar, S., Riar, C. S., Jindal, N., Baniwal, P., Guine, R. P., Correia, P. M., Mehra, R., & Kumar, H. (2022). Recent advances in Drumstick (*Moringa oleifera*) leaves bioactive compounds: Composition, health benefits, bioaccessibility, and dietary applications. *Antioxidants*, *11*(2), 402. https://doi.org/10.3390/antiox11020402

Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z. K., AlMutairi, K. A., & Siddiqui, Z. H. (2017). Role of nanomaterials in plants under challenging environments. *Plant Physiology and Biochemistry*, *110*, 194-209. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.038

Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2015). Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, *16*(6), 12791-12835. https://doi.org/10.3390/ijms160612791

Lopez-Vargas, E. R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., de Alba Romenus, K., Cabrera de la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., & Juarez-Maldonado, A. (2018). Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and the content of bioactive compounds in tomatoes. *Applied Sciences*, *8*(7), 1020. https://doi.org/10.3390/app8071020

Lwalaba, J. L. W., Louis, L. T., Zvobgo, G., Richmond, M. E. A., Fu, L., Naz, S., Mwamba, M., Mundende, R. P. M., & Zhang, G. (2020). Physiological and molecular mechanisms of cobalt and copper interaction in causing phyto-toxicity to two barley genotypes differing in Co tolerance. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *187*, 109866. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109866

Ma, Z. F., Ahmad, J., Zhang, H., Khan, I., & Muhammad, S. (2020). Evaluation of phytochemical and medicinal properties of Moringa (*Moringa oleifera*) as a potential functional food. *South African Journal of Botany*, *129*, 40-46. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.12.002

Masukasu, H., Karin, O., & Kyoto, H. (2003). Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanus sativus*) hypocotyls. *Plant Science*, *164*(2), 259-265. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00408-9

Meinhart, A. D., Damin, F. M., Caldeirao, L., Filho, M., da Silva, L. C., Constant, L., Filho, J. C., Wagner, R., & Godo, H. T. (2019). Study of new sources of six chlorogenic acids and caffeic acid. *Journal of Food Composition and Analysis*, *82*, 103244. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103244

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, *7*, 405-410. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9

Moradbeygi, H., Jamei, R., Heidari, R., & Darvishzadeh, R. (2020). Investigating the enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense by applying iron oxide nanoparticles in *Dracocephalum moldavica* L. plant under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, *272*, 109537. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109537

Muteeb, G., Aatif, M., Farhan, M., Alsultan, A., Alshoaibi, A., & Alam, M. W. (2023). Leaves of moringa oleifera are potential source of bioactive compound β-carotene: Evidence from in silico and quantitative gene expression analysis. *Molecules*, *28*(4), 1578. https://doi.org/10.3390/molecules28041578

Nair, P. M. G. & Chung, I. M. (2014). Impact of copper oxide nanoparticles exposure on *Arabidopsis thaliana* growth, root system development, root lignificaion, and molecular level changes. *Environmental Science and Pollution Research*, *21*, 12709-12722. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3210-3

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., & Kumar, D. S. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, *179*, 154-163. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012

Noman, M., Ahmed, T., Shahid, M., Niazi, M. B. K., Qasim, M., Kouadri, F., Abdulmajeed, A. M., Alghanem, S. M., Ahmad, N., Zafar, M., & Ali, S. (2021). Biogenic copper nanoparticles produced by using the *Klebsiella pneumoniae* strain NST2 curtailed salt stress effects in maize by modulating the cellular oxidative repair mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *217*, 112264. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112264

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

Nouman, W., Siddiqui, M. T., Basra, S. M. A., Khan, R. A., Gull, T., Olson, M. E., & Hassan, M. (2012). Response of *Moringa oleifera* to saline conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, *14*(5), 757-762. http://www.fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL_14_NO_5/12.pdf

Nourozi, E., Hosseini, B., Maleki, R., & Abdollahi Mandoulakani, B. (2019). Iron oxide nanoparticles: A novel elicitor to enhance anticancer flavonoid production and gene expression in *Dracocephalum kotschyi* hairy-root cultures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(14), 6418-6430. https://doi.org/10.1002/jsfa.9921

Oldoni, T. L. C., Merlin, N., Karling, M., Carpes, S. T., de Alencar, S. M., Morales, R. G. F., da Silva, E. A., & Pilau, E. J. (2019). Bioguided extraction of phenolic compounds and UHPLC-ESI-Q-TOF-MS/MS characterization of extracts of *Moringa oleifera* leaves collected in Brazil. *Food Research International*, *125*, 108647. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108647

Pan, Y., Qin, R., Hou, M., Xue, J., Zhou, M., Xu, L., & Zhang, Y. (2022). The interactions of polyphenols with Fe and their application in Fenton/Fenton-like reactions, *Separation and Purification Technology*, *300*, 121831, https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121831

Pandey, A. K., Mishra, A. K., & Mishra, A. (2012). Antifungal and antioxidative potential of oil and extracts derived from leaves of Indian spice plant *Cinnamomum tamala*. *Cellular and Molecular Biology*, *58*, 142-147.

Pareek, A., Pant, M., Gupta, M. M., Kashania, P., Ratan, Y., Jain, V., Pareek, A., & Chuturgoon, A. A. (2023). *Moringa oleifera*: An updated comprehensive review of its pharmacological activities, ethnomedicinal, phytopharmaceutical formulation, clinical, phytochemical, and toxicological aspects. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(3), 2098. https://doi.org/10.3390/ijms24032098

Pashangah, Z., Shamili, M., Abdolahi, F., & Ghasemi, M. (2020). The interaction of salinity and gibberellin on leaf abscission, dry matter, antioxidant enzymes activity and ion content in guava (*Psidium guajava* L). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *33*(4), 809-826. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.4.15.1. (In Persian)

Perez-Labrada, F., Lopez-Vargas, E. R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., & Juarez-Maldonado, A. (2019). Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. *Plants*, *8*(6), 151. https://doi.org/10.3390/plants8060151

Pinedo-Guerrero, Z. H., Hernandez-Fuentes, A. D., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Cadenas-Pliego, G., & Juarez-Maldonado, A. (2017). Cu nanoparticles in hydrogels of chitosan-PVA affects the characteristics of post-harvest and bioactive compounds of Jalapeno pepper. *Molecules*, *22*(6), 926. https://doi.org/10.3390/molecules22060926

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

Saini, R. K., Sivanesan, I., & Keum, Y. S. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: A review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *3 Biotech*, *6*, 1-14. https://doi.org/10.1007/s13205-016-0526-3

Salhab, H. A. S., Joseph, J., & Samad, N. A. (2023). Molecular targets of *moringa Moringa oleifera* in cancers (in vitro and in vivo): A systematic review. *Journal of Health and Translational Medicine (JUMMEC)*, 46-65. https://doi.org/10.22452/jummec.sp2023no1.5

Selvakesavan, R. K., Kruszka, D., Shakya, P., Mondal, D., & Franklin, G. (2023). Impact of nanomaterials on plant secondary metabolism. *Nanomaterial Interactions with Plant Cellular Mechanisms and Macromolecules and Agricultural Implications*, 133-170. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20878-2_6

Shabala, S. & Pottosin, I. (2014). Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: Implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, *151*(3), 257-279.

Shaw, A. K., Ghosh, S., Kalaji, H. M., Bosa, K., Brestic, M., Zivcak, M., & Hossain, Z. (2014). Nano-CuO stress induced modulation of antioxidative defense and photosynthetic performance of Syrian barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany*, *102*, 37-47. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.02.016

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

Shiferaw, B. & Baker, D. A. (1996). An evaluation of drought screening techniques for *Eragrostis* tef. *Tropical Science*, *36*, 74-85. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.065

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M., & Al-Khaishany, M. Y. (2015). Role of nanoparticles in plants. *Nanotechnology and Plant Sciences: Nanoparticles and their Impact on Plants*, 19-35. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14502-0_2

Soliman, A. S., El-feky, S. A., & Darwish, E. (2015). Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers. *Journal of Horticulture and Forestry*, *7*(2), 36-47. https://doi.org/10.5897/JHF2014.0379

Swieca, M. (2016). Hydrogen peroxide treatment and the phenylpropanoid pathway precursors feeding improve phenolics and antioxidant capacity of quinoa sprouts via an induction of L-tyrosine and L-phenylalanine ammonia Lyases activities. *Journal of Chemistry*, *2016*(1), *1936516*. https://doi.org/10.1155/2016/1936516

Tabatabaee, S., Iranbakhsh A., Shamili M., & Oraghi Ardebili, Z. (2021). Copper nanoparticles mediated physiological changes and transcriptional variations in microRNA159 (miR159) and mevalonate kinase (MVK) in pepper; potential benefits and phytotoxicity assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*, 106151. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106151

Tanveer, M. (2020). Tissue-specific reactive oxygen species signalling and ionic homeostasis in *Chenopodium quinoa* and *Spinacia oleracea* in the context of salinity stress tolerance. Doctoral dissertation, University Of Tasmania.

Teixeira, J., Gaspar, A., Garrido, E. M., Garrido, J., & Borges, F. (2013). Hydroxycinnamic acid antioxidants: An electrochemical overview. *Biomedical Research International*, *2013*, 251754.

Tiloke, C., Phulukdaree, A., & Chuturgoon, A. A. (2016). The antiproliferative effect of *Moringa oleifera* crude aqueous leaf extract on human esophageal cancer cells. *Journal of Medicinal Food*, *19*(4), 398-403. https://doi.org/10.1089/jmf.2015.0113

Ullah, A., Ali, I., Noor, J., Zeng, F., Bawazeer, S., Eldin, S. M., Asghar, M. A., Javed, H. H., Saleem, K., Ullah, S., & Ali, H. (2023). Exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) mitigated salinity-induced impairments in mungbean plants by regulating their nitrogen metabolism and antioxidant potential. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1081188. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1081188

Waterhouse, A. L. (2002). Determination of total phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *3*, 18-19.

Zainab, N., Amna, Khan, A. A., Azeem, M. A., Ali, B., Wang, T., Shi, F., Alghanem, S. M., Hussain Munis, M. F., Hashem, M., Alamri, S., & Chaudhary, H. J. (2021). PGPR-mediated plant growth attributes and metal extraction ability of *Sesbania sesban* L. in industrially contaminated soils. *Agronomy*, *11*(9), 1820. https://doi.org/10.3390/agronomy11091820

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]

The impact of nano copper on physiological parameters and phytochemical compounds of Moringa (*Moringa oleifera*) under salinity

Mahsa Ameri[1], Mansoore Shamili[1], Vahid Roshan Sarvestani[2*], Mostafa Ghasemi[3]

[1] Department of Horticultural Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2] Department of Natural Resources, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, PO Box 71555-617, Shiraz, Iran
[3] Horticulture Crops Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran
(Received: 2024/07/11, Accepted: 2024/08/20)

Abstract

Moringa oleifera, is a medicinal, fast-growing and perennial plant that grows in almost all tropical and subtropical regions and can tolerate a vast range of rainfall conditions. This survey was carried out as a factorial on a completely randomized design, in order to investigate the impact of foliar spraying of Cu nanoparticles (0, 5, 10 and 20 ppm) on the physiological traits and the content of phytochemical compounds of Moringa plants under sodium chloride salinity (0, 3.9, 7.8 and 11.7 dS/m). Based on the findings, ion leakage was enhanced under salinity stress, and treatment via nano-Cu reduced the parameter. Thus, the highest (75.01%) and the lowest (38.62%) ion leakage were recorded at the highest salinity level without nanoparticle application and the control treatment (without salinity stress and no nanoparticle application), respectively. The results illustrated an improvement in the anthocyanin, phenol, flavonoid and antioxidant activity of moringa leaves under salt-treated plants and nano-Cu. Therefore, the highest content of anthocyanin (4.68 µmol/g FW), phenol (16.02 mg of gallic acid/g FW), flavonoid (0.83 mg quercetin/g FW), and antioxidant activity (86.71 µg/ml) were obtained under 11.7 dS/m of salinity and 20 ppm of nano-Cu. A phytochemical investigation of leaf extract compounds indicated that salinity declined Caffeic acid and chlorogenic acid, while foliar spraying with nano-Cu enhanced them. Hence, the highest amount of caffeic acid was recorded at different levels of nano-Cu under no salt treatment and the lowest amount (1.09 mg/L) at the highest level of salinity without applying nano-Cu. In addition, the highest amount of chlorogenic acid (22.5 mg/L) was observed under no-salt treatment with the application of 20 ppm of nano-Cu and the lowest amount (2.6 mg/liter) at 7.8 dS/m Salt without the presence of nano-Cu. In general, nano-Cu improved the tolerance of Moringa to salt stress by boosting the compounds involved in the biosynthesis of antioxidants and other physiological traits, as well as the secondary metabolites of the plant.

Keywords: Flavonoid, Moinga, Nano Cu, Phenol, Salinity, Sparaying

Corresponding author, Email: shamili@ut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.341]