

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 اولیفر، 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 نانوذره 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 نشت یونی تحت تیمار شوری، افزایش یافت و تیمار با نانومس از این مشخصه کاست. به‌طوریکه، بیشترین (۷۵/۰۱٪) و کمترین (۳۸/۶۲٪) میزان نشت یونی به ترتیب در بالاترین سطح شوری بدون اعمال نانوذره و تیمار شاهد (بدون تنش شوری و عدم اعمال نانوذره) 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 بیوستز 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

مقدمه

مورینگا اولیفر (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 به صورت نامرتب رشد می‌کنند و سایبانی چتری تشکیل می‌دهند. برگ‌های شانه‌ای مضاعف، مرکب 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 نیازیمسین (Niazimicine)، نیازیرین (Niazirin) و گلوکومورینگین (Glucomoringin) است (Pareek et al., 2023; Salhab et al., 2023). برگ مورینگا حاوی گلیکوزیدهای کوئرستین (Quercetin)، کامفرول (Kaempferol)، پیروول 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 دیواره سلولی عبور کنند (Nair et al., 2010). البته درجه اثر بخشی 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 مضر شوری در گیاهان، از طریق بهبود روابط آبی، فتوسنتز، تغذیه، تنظیم دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش اسیدهای آمینه، مؤثر بوده است (Iqbal et al., 2018; Shaw et al., 2017; Pinedo-Guerrero et al., 2014).

از آنجا که شوری از تنش‌های مخرب بر گیاه مورینگا است، ارائه روش مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضر 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

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) به صورت 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 به ترتیب 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 23 ± 2 و شبانه 19 ± 2 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 آب مقطر حل و مقادیر صفر، $3/9$ ، $7/8$ و $11/7$ 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 آب مقطر به‌عنوان تیمار صفر دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از تجمع بیش‌ازحد نمک در گلدان‌ها، هر دو هفته یک‌بار آب‌شویی انجام شد. تیمار شوری، هشت هفته به‌طول انجامید و پس از آن گلدان‌ها تا یک هفته با آب مقطر 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.

نانوذره مس مورد استفاده در این آزمایش از شرکت نانوسانی (مشهد، ایران)، خریداری شد. میانگین اندازه ذرات

نانومس ۴۰ نانومتر، چگالی ظاهری $0/21$ گرم بر سانتی‌متر مکعب، چگالی واقعی $8/9$ 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 آب مقطر 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.

$$\text{نشت یونی} = \frac{EC_1}{EC_2} \times 100$$

آنتوسیانین برگ: بدین منظور یک گرم برگ در هاون‌چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی ساییده و پس از سانتریفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه)، جذب روشناور توسط اسپکتروفوتومتر (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 آب مقطر و ۶۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد افزوده و

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 قرار داده شد. عصاره‌گیری توسط کلونجر به مدت ۳ ساعت ادامه یافت. بعد از اتمام این فرایند عصاره بدست آمده توسط تقطیرکننده دوآر (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 نشست 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

پس از اضافه‌کردن ۴۸۰ میکرولیتر کربنات سدیم، مجدداً آنکوبه (۲ ساعت، شرایط تاریکی، دمای اتاق) شدند. در نهایت جذب عصاره در طول موج 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 آب مقطر (۱:۱)، ۶۰۰ میکرولیتر متانول، ۴۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم (۱۰ درصد)، ۴۰ میکرولیتر استات پتاسیم (یک مولار) و ۱۱۲۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه و ۱۰ ثانیه ورتکس شد. پس از آنکوبه‌کردن (۴۰ دقیقه، تاریکی، دمای اتاق)، جذب عصاره در طول موج 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، ۰/۲ گرم 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 آنکوبه 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 طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره از رابطه زیر محاسبه شد (Daferera et al., 2000).

جذب نمونه

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

بررسی فیتوشیمیایی ترکیبات عصاره برگ: جهت تهیه

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

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

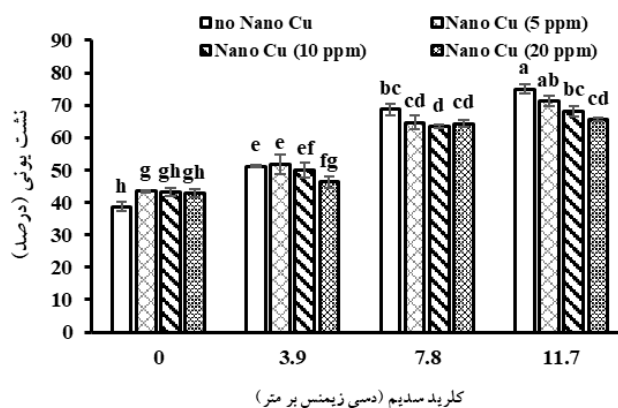
درصد) بود.

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. به عبارتی، 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 تیمار شده با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر که نانومس دریافت نکرده بودند تعلق 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 تیمار نشده 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، از جمله شوری، به شمار می‌رود (Tanveer, 2020). انواع رادیکال‌های تولید شده 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., 2014).

(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 تیمار شده با نمک است. نانوذرات 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 ذرت (*Zea mays*) (Noman et al., 2021) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Al-Shemmary et al., 2020) با نانوذرات 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

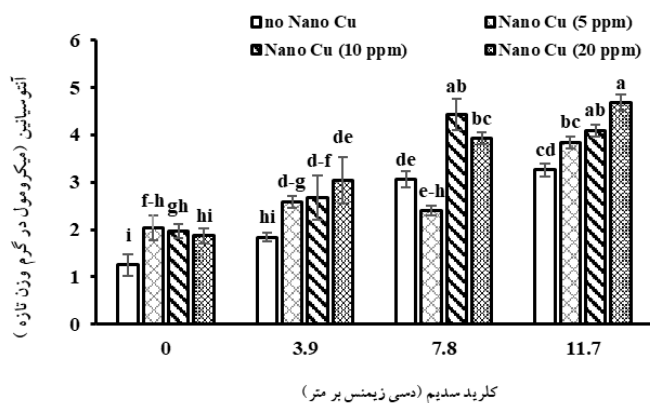


شکل ۱- برهمکنش شوری و نانومس بر نشت یونی مورینگا. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار با آزمون دانکن ($P < 0.01$) است.

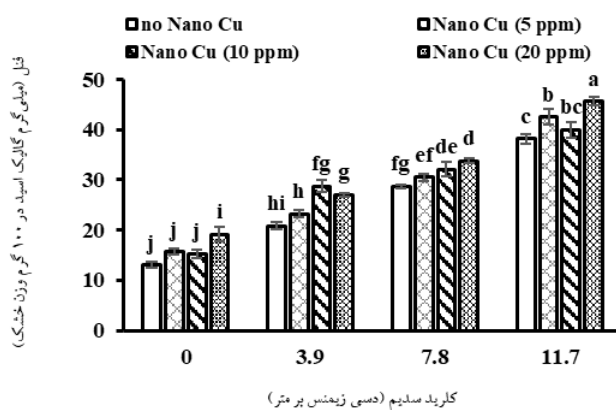
۳ و ۴).

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 بیوستتر

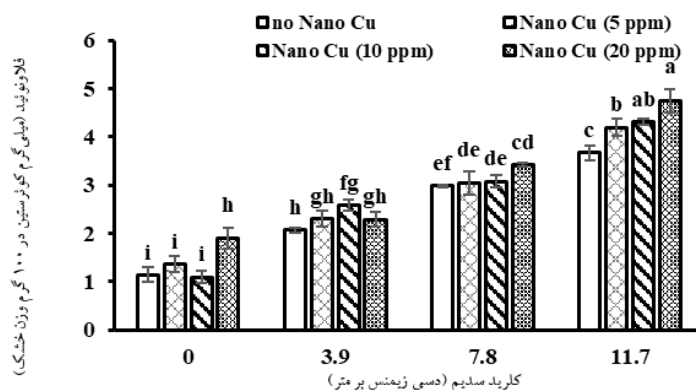
نیز بر محتوای این رنگدانه در برگ افزود. بیشترین محتوای این رنگدانه (۴/۶۸ میکرومول در گرم وزن تازه) در گیاهان آبیاری‌شده با آب شور ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر که با نانومس ۲۰ ppm تیمار شده بودند، مشاهده شد. از طرفی، کمترین مقدار این رنگدانه (۱/۲۵ میکرومول در گرم وزن تازه) به گیاهانی که تیمار شوری یا نانومس را دریافت نکرده بودند، تعلق داشت. در گیاهان تیمار شده 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 تیمار شده 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



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

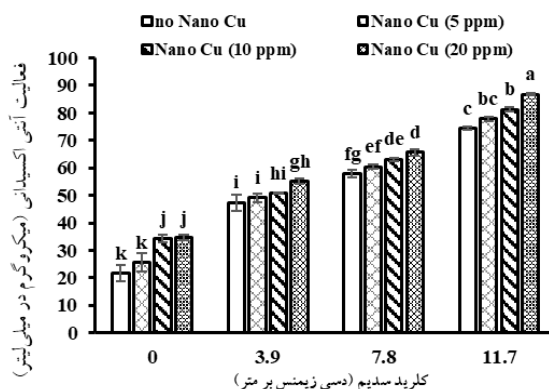
شاهد (عدم وجود شوری و عدم محلول‌پاشی نانومس) و گیاهان محلول‌پاشی شده با ۵ ppm نانومس به دست آمد. در شرایط عدم شوری، محلول‌پاشی با ۲۰ ppm نانومس، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تا ۳۸ درصد افزایش داد. همین سطح از محلول‌پاشی در گیاهان تیمار شده با نمک ۱۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش ۱۴ درصدی در این صفت نشان داد (شکل ۵).

کاربرد نانوذرات 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)، ذرت (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 شناسایی شده در عصاره برگ مورینگا را نشان

گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل آن‌ها قادر به اتصال به آهن هستند و در نتیجه یون‌های آهن را، با کلات کردن آن‌ها، غیرفعال کرده و سطح سوپراکسید ناشی از واکنش فتون (Fenton reaction) (طی این فرآیند H_2O_2 تولید شده 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 به‌طور غیرمستقیم با کلاته کردن آهن، از استرس اکسیداتیو جلوگیری (Chung et al., 2019) و فعالیت‌های آنزیمی را تنظیم می‌کنند (Pandey et al., 2012). همسو با نتایج ما، نانوذرات 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 نانوذرات 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 نانوذرات به افزایش بیان ژن‌های دخیل در مسیر فنیل پروپانوئید، جذب گوگرد و بیوسنتز گلوکوتانیون 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



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 تیمار شده با شوری صفر و ۳/۹ دسی‌زیمنس بر متر

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

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

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

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 خاموش کردن 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

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 تیمار شده با سطوح صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm نانومس مشاهده شد. کمترین میزان این ترکیب (۱/۰۹ میلی‌گرم در لیتر) نیز به گیاهان تیمار شده با بالاترین سطح نمک که نانومس دریافت نکرده بودند، تعلق داشت. کمترین میزان اسید

خشک) و فلاونوئید (۴/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار با نانوذرات مس (۳۰ میکروگرم در لیتر) مشاهده شد، که حاکی از توانایی نانوذرات مس در تحریک بیوستنز 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 نانوذره در پژوهش‌های مبنی بر اثر تنش‌های غیرزیستی بر گیاهان، حائز اهمیت است.

شامل اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، اسید کوماریک و اسید الازیک 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 هیدروکسیله شدن اسید پاراکوماریک بیوستنز 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 نانوذرات 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 نانوذرات 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

منابع

اسماعیل‌پور، بهروز، شیخعلی‌پور، مرتضی، و ترابی‌گیلکو، موسی (۱۳۹۹). تأثیر نانوذرات 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 الیغرا. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۲۱(۱۸)، ۱۶۳-۱۷۲.

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

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 nanoparticle 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/ijfnt.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](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00413-5)
- Chaowuttikul, C., Palanuvej, C., & Ruangrunsi, 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., Albady, 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 malonaldehyde concentration of canola varieties. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(1), 123-130. [doi:10.22067/GSC.V9I1.10504](https://doi.org/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.

- <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 phytotoxicity 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](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](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 lignification, and molecular level changes. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 12709-12722. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3210-3>

- 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>

- 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-Wahaibi, 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>

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

Mahsa Ameri¹, Mansoore Shamili¹, Vahid Roshan Sarvestani^{2*}, Mostafa Ghasemi³

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 $\mu\text{mol/g}$ FW), phenol (16.02 mg of gallic acid/g FW), flavonoid (0.83 mg quercetin/g FW), and antioxidant activity (86.71 $\mu\text{g/ml}$) 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