بررسی‌اثرات نانوذره اکسیدمس برروی پارامترهای رشدی وبیوشیمیایی گیاهچه‌های کتان

لیلا نوجوان [۱] و فاطمه رحمانی[۲*]

۱ و ۲) گروه زیست شناسی، دانشگاه ارومیه، ایران.

نویسنده مسئول*:f.rahmani@urmia.ac.ir

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۰۶/۱۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰**

چکیده

با توجه به اهمیت و کاربرد روز افزون نانوذرات و مشاهده اثرات سمی آن‌ها، بررسی اثرات این مواد بر صفات فیزیولوژیک گیاهان ضروری می باشد. هدف ازاین مطالعه بررسی غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید مس (۰، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) بر روی پارامترهای رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه های کتان (*Linum usitatissimum* L.) است. این مطالعه دراتاق کشت گروه زیست شناسی دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۷ در قالب طرح تصافی با سه تکراردربطری‌های شیشه ای انجام گرفت.در هربطری۲۰ عدد بذر قرار داده شد. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، تنش نانوذره‌ی اکسید مس منجر به کاهش معنی دارطول ریشه چه در غلظت ۱۰۰۰میلی گرم بر لیتر شد در حالی که اندازه گیری طول ساقچه نمایانگر تاثیر مثبت افزایش نانوذرات اکسید مس بر این پارامترنسبت به کنترل بود. نتایج مقایسه ی میانگین داده‌ها نشان دادند که با افزایش غلظت نانو اکسید مس میزان فنل کل، قند محلول و میزان پر اکسیداسیون چربی‌ها نسبت به کنترل روند افزایشی داشتند. فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش و آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز ($P<0.05$) کاهش نشان دادند. میزان پروتئین محلول وفلاونوئید هم با افزایش غلظت در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. شواهد حاصل از آزمایشات بیوشیمیایی بیانگر استراتژی گیاهچه های کتان در استفاده از مسیرهای منتهی به افزایش این فاکتورها به منظور ممانعت از خسارت اکسیداتیو به سلول‌های گیاهی است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی، فلاونوئید کل، پر اکسیداسیون چربی‌ها، فنل کل و قند محلول.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

مقدمه

نانوذرات با اندازه بین ۱۰۰-۱ نانومتر و ابعادی در میلیاردیوم مترمربع کاربردهای متعددی در کشاورزی، پزشکی، الکترونیک، مواد شیمیایی و داروسازی دارند (دیرکوندی و همکاران۱۴۰۱; نیک اندیش و همکاران ۱۴۰۳ ,.Thakur *et al* 2022; Turan *et al*., 2019;). این ذرات پارامترهای ساختاری و متابولیکی را بهبود بخشیده و با ایجاد مقاومت سیستمیک، عملکرد را تا حدود زیادی افزایش داده و توانسته‌اند به طور موثر به عنوان آغازگر بذر برای بهبود رشد و عملکرد گیاه استفاده شوند(Ramkumar *et al*., 2022) . با این حال استفاده گسترده از نانو ذرات در زمینه‌های مختلف این نگرانی را ایجاد می‌کند که آن‌ها در محیط رها شده و از طریق قسمت‌ساقه یا ریشه به طور مثبت یا منفی با گیاهان تعامل داشته باشند(Arya *et al*., 2022). از بین نانوذرات فلزی ساده، نانومواد مس به دلیل سمی نبودن، در دسترس و مقرون به صرفه بودن، کاربردهای فراوانی یافته اند(Jankhunthod *et al*., 2023).

در گیاهان نانوذرات اکسیدمس بسته به مقدار، ساختار، غلظت و همچنین گونه گیاهی، بر چرخه زندگی گیاه به صورت مثبت یا منفی تأثیر گذار بوده اند (Salam *et al*., 2022). این نانو ذرات درغلظت های پایین تر می توانند فعالیت آنزیم-هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالازوپراکسیداز را افزایش دهند وبه گیاهان دانه روغنی کمک کنند تا با استرس اکسیداتیو ناشی از عوامل غیر زنده مبارزه نمایند. با این حال، در غلظت‌های بالاتر، به دلیل تجمع بیش از حد گونه های فعال اکسیژن منجر به مهار آنزیم می شوند. آن‌ها همچنین می توانند بر رنگیزه‌های فتوسنتزی ازجمله کلروفیل وکاروتنوئیدها که برای تولید انرزی و تحمل استرس در گیاهان دانه روغنی حیاتی هستند، تاثیر بگذارند.در حالی که دوزهای پایین این نانو ذرات ممکن است باعث بهبودی رشد و عملکرد دانه در محصولات دانه روغنی شود، قرارگرفتن در معرض بیش از حد می تواند منجر به اثرات سمی گیاهی مانند کاهش نرخ جوانه زنی و توقف رشد گردد. نانو ذرات اکسید مس، با اختلال در جذب مواد مغذی نیز منجر به عدم تعادل عناصر ضروری مانند نیتروژن،فسفرو پتاسیم شده و می توانند هورمونهای گیاهی نظیر اکسین و جیبرلین را مختل نموده و بر رشد و نمو تاثیر بگذارند (Rajput *et al*., 2018; Wang *et al*., 2024). کتان با نام علمی *Linum usitatissimum* از خانواده Linaceae می باشد که در سرتاسر جهان در آب و هوای مختلف رشد می کند. این گونه بومی مناطق شرق مدیترانه، آسیای غربی و آسیای میانه به هند بوده و بیشترین مناطق کشت آن در آمریکای شمالی، روسیه، اروپای شمالی، قزاقستان و چین در آسیا است (Saleem *et al*., 2020; Bernacchia *et al*., 2014). دانه کتان سرشار از مواد مغذی متعدد از جمله اسیدهای چرب3-ω، ویتامینE ، فیبرهای غذایی و لیگنان ها است (Shekhara *et al*., 2020; Sirotkin, 2023). از روغن کتان در صنعت پوشش و ازالیاف آن به عنوان جزئی از مواد کامپوزیت استفاده می شود (More, 2022; Dmitriev *et a*l., 2021) . زیست توده کتان به عنوان

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

منبع انرژی زیستی وتوالی ژنومی آن منبع اطلاعاتی مفیدی برای مطالعات پایه و کاربردی است (Zhao *et al*., 2023; Batog *et al*., 2023). هدف از این تحقیق بررسی اثرات غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید مس (۰،۱۰، ۱۰۰و۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) بر روی پارامت‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های کتان است.

مواد و روش ها

بذرکتان کولتیوار TN-97-55، از شرکت پاکان بذر اصفهان و نانو ذرات اکسید مس از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان مشهد خریداری شدند. درجه خلوص نانو ذرات ۹۹٪ و میانگین اندازه نانوذرات ۲۰-۱۰ نانومتر بود.

تهیه تیمارهای نانوذره اکسید مس و نحوه ی تیماردهی دانه ها

دانه‌ها به مدت ۲ دقیقه با اتانول ۷۰ درصد و سپس به مدت چهار دقیقه با محلول ۵۰ درصدی هیپوکلریت سدیم استریل شده و سپس به طورکامل چهار بار با آب مقطر شسته شدند. محلول نانوذره اکسیدمس جهت تیمار دانه‌ها در غلظت‌های صفر یا شاهد (فقط آب مقطرخالص) ،۱۰،۱۰۰و۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شد. دانه‌ها دربطری‌های شیشه ای تحت شرایط نوری۳۵۰ $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ،رطوبت ۶۰-۷۰ درصد و دمای ۲± ۲۷ درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته رشد داده شدند. آزمایش درقالب طرح تصادفی با سه تکرارانجام شد .

اندازه گیری طول ساقچه و ریشه چه

از گیاهچه های هفت روزه دو نمونه از هرتکرار به طورتصادفی انتخاب و با آب شست وشو داده شد و پس از رطوبت گیری سطحی طول ساقچه و ریشه چه آنها با خط کش اندازه گیری گردید.

اندازه گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه گیری میزان رنگیزه‌ها از روش (Lichtenthaler and Wellburn 1983) استفاده شد. نمونه‌هاتوسط اسپکتروفتومتر (UV-Vis Spectrophotometer model UV1902 - SP017 China) درطول موج های ۶۶۲ و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل a وb اندازه گیری شدند. برای تعیین کارتنوئید کل جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه گیری گردید. برای محاسبه کلروفیل aو کلروفیل bو همچنین کارتنوئید از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ بر حسب میلی‌گرم برگرم وزن تر استفاده شد (A میزان جذب خوانده شده در هر طول موج توسط اسپکتروفتومتر می باشد). (Lichtenthaler and Wellburn 1983).

رابطه ۱: $Chla=11.75\ (A662)-2.350\ (A645)$

رابطه ۲: $Chlb=18.61\ (A645)-3.960\ (A662)$

رابطه ۳: $CX+c=1000\ (A470)-2.270\ chla-81.4\ chlb/227$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

اندازه گیری قندهای محلول

میزان قندهای محلول بر اساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال اندازه گیری شد (Dubois *et al*., 1956). میزان جذب در ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتراندازه‌گیری و با استفاده از منحنی استاندارد میزان قند تعیین و در نهایت بر حسب (میلی‌گرم برگرم وزن تر) محاسبه گردید.

استخراج واندازه گیری پروتئین محلول

برای تعیین پروتئین محلول از روش برادفورد استفاده شد (Bradford, 1976). جذب نوری هریک از نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومترخوانده شد. سپس با استفاده از منحنی‌استاندارد مقدار پروتئین کل محلول در هر نمونه برحسب میلی گرم برگرم وزن تر بافت محاسبه گردید.

اندازه گیری میزان کاتالاز

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز براساس توضیح داده شده صورت گرفت (Abdoli Nejad and Shekafandeh, 2014). تغییرات جذب در طول موج۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت دو دقیقه بررسی گردید. محتوای فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول بر میلی گرم پروتئین در دقیقه محاسبه گردید.

اندازه گیری میزان گلوتاتیون پراکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس روش Behnamnia و همکاران (۲۰۰۹) صورت گرفت. مقدارتغییرات در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ثانیه (یک دقیقه) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد که همراه با افزایش جذب بود.

اندازه گیری میزان آسکوربات پراکسیداز

پس از آماده سازی عصاره‌های پروتئینی برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ، تغییرات جذب درطول موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد (Behnamnia *et al*., 2009).

اندازه گیری فعالیت سوپراکسید دیسموتاز

به منظور سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز جذب محلول در ۵۶۰ نانومتر با استفاده ازدستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت این آنزیم بر اساس واحد بر میلی گرم پروتئین می باشد. واحد عبارت است از مقدار آنزیمی که احیای نوری NBT را به مقدار۵۰ درصد کاهش دهد (Abdoli Nejad and Shekafandeh, 2014).

اندازه گیری میزان پراکسیداسیون چربی ها

بررسی میزان پراکسیداسیون لیپید بر اساس سنجش محتوای مالون دی الدئید با استفاده از تیوباربیتیوریک اسید

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

(TBA) با کمی تغییرات انجام شد (Heath and packer ,1968). میزان جذب مخلوط به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS در دو طول موج ۵۳۲و ۶۰۰ اندازه گیری شد.

اندازه گیری فنل کل و منحنی استاندارد آن

به منظور سنجش محتوای فنل کل از روش استفاده گردیدوجذب هر یک از نمونه‌ها درطول موج ۷۶۰ nm خوانده شد. سنجش همه نمونه‌ها با سه تکرار مستقل انجام و مقدار فنل کل در هر نمونه با کمک معادله حاصل از منحنی استاندارد گالیک اسید محاسبه گردید (Farag *et al*., 2015).

سنجش فلاونوئید و رسم منحنی استاندارد آن

مقدار فلاونوئید کل در هر نمونه با کمک معادله حاصل از منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۴ نانومتر براساس منحنی استاندارد اندازه گیری شد (Quettier *et al*., 2000).

آنالیز آماری

برای کاهش خطا، مقادیر میانگین (نمونه برداری آزمایش ها) در سه تکرار به دست آمد و انحراف معیار میانگین‌ها محاسبه گردید. اختلاف میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه (ONE WAY ANOVA) محاسبه شد. گروه بندی تیمارها در سطح احتمال پنج درصد ($p<۰/۰۵$) با آزمون چند دامنه ای دانکن (Duncan) انجام شد (جدول‌های ۱و ۲). آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS ورژن ۲۳ انجام و نمودارها توسط برنامه Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

طول ساقچه

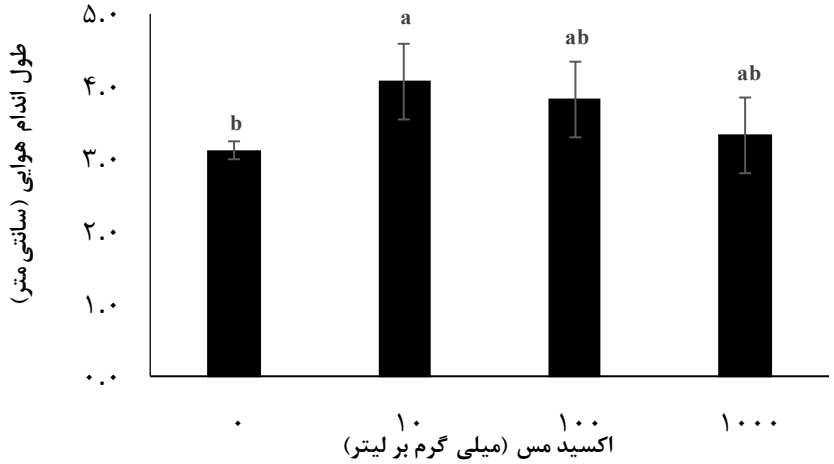
آنالیز داده‌های حاصل از آزمایشات نشان داد که در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتربیشترین افزایش طول ساقچه (۴/۰۸ سانتی متر) و در غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم برلیتر کمترین افزایش (۳/۳۳ سانتی‌متر) نسبت به گروه شاهد (۳/۱۱ سانتی متر) مشاهده شد (شکل ۱). یافته‌های این تحقیق با گزارش مبنی برکاهش طول ساقه توسط نانو ذرات مس در غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم برلیتر در گیاه برنج (*Oryza sativa*) مغایرت داشت (Costa and Sharma, 2016). نتایج این مطالعه حاکی از مکانیسم محرومیت برای مقاومت در برابر سمیت است،چنین گیاهانی فلزات را در ریشه ها جمع می‌کنند تا از انتقال آنها به شاخه‌ها جلوگیری کنند(Costa and Sharma 2016).

طول ریشه چه

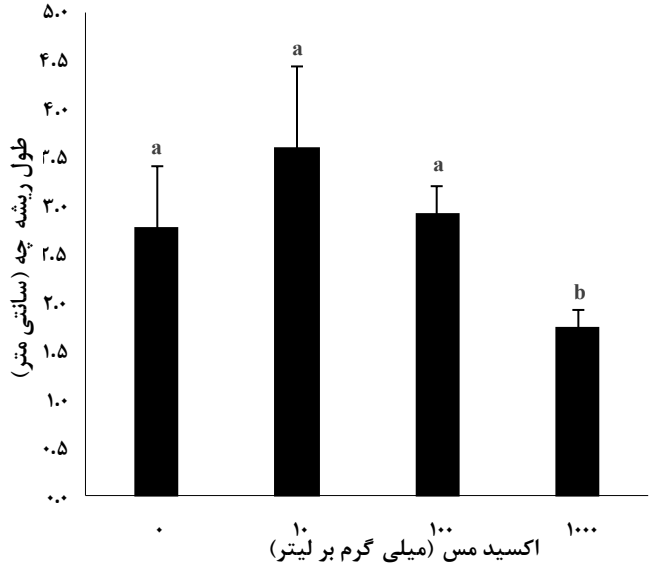
بیشترین و کمترین طول ریشه‌چه به ترتیب در غلظت ۱۰میلی گرم بر لیتر (۳/۶ سانتی متر) و غلظت ۱۰۰۰میلی‌گرم

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

بر لیتر (۱/۷۵ سانتی متر) نسبت به شاهد (۲/۷۸ سانتی متر) اندازه‌گیری شد (شکل۲). کاهش طول ریشه چه در مقایسه با ساقچه را می توان به سمیت ناشی از تجمع مس در بافت ریشه‌چه، تاثیرترشح موسیلاژ توسط سلول‌های نوک ریشه باعث جذب بیشتر نانو ذرات و انتقال ناچیز اکسیدمس از ریشه چه به‌ساقچه مرتبط دانست (Costa and Sharma, 2016). افزایش و سپس کاهش در طول ریشه گیاه لوبیا و گندم نیز در اثر تیمار بانانوذرات اکسیدمس نتایج همسویی را با مطالعه حاضرنشان می دهد (Lee *et al*., 2008). در تحقیق دیگری نانو ذرات مس در غلظت‌های بالاتر از ۴۰ میکروگرم در میلی‌لیتر، سبب مهار جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه‌چه در گیاه *Lactuca sativa* شدند. این محققان گزارش کردند که با افزایش غلظت نانوذرات اکسید مس ، سطح نیتریت و-S نیتروسوتیول‌ها در ریشه‌چه‌ها افزایش می‌یابد (Pelegrino *et al*., 2020).



شکل ۱: اثر غلظت‌های مختلف نانوذره اکسید مس بر طول ساقچه در درگیاهچه‌های هفت روزه کتان



شکل ۲: اثر غلظت های مختلف نانوذرات اکسید مس برطول ریشه چه درگیاهچه‌های هفت روزه کتان

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

میزان کلروفیل و کارتنوئیدها

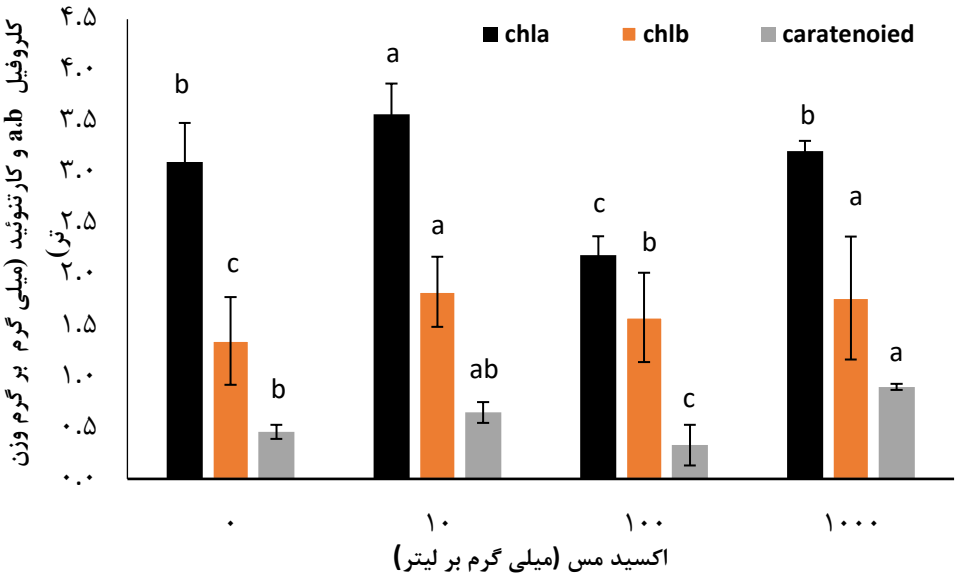
نتایج آنالیز داده‌ها افزایش (۳/۵۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کاهش(۲/۱۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) معنی‌داری را درمحتوای کلروفیل a درتیمارهای ۱۰و ۱۰۰ میلی گرم بر لیترنانو اکسید مس نسبت به گروه شاهد (۳/۱۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) نشان داد (شکل ۲). بیشترین و کمترین افزایش کلروفیل b *به ترتیب* در غلظت ۱۰میلی گرم بر لیتر (۱/۸۳میلی گرم بر گرم وزن تر) و غلظت ۱۰۰میلی گرم بر لیتر (۱/۵۸میلی گرم بر گرم وزن تر) نسبت به گروه شاهد (۱/۳۵میلی گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. آنالیز حاصل ازآزمایش حاکی‌است که محتوای کارتنوئید در غلظت ۱۰۰۰میلی گرم بر لیتر نانو ذرات اکسید مس با ۰/۹میلی گرم بر گرم وزن تربیشترین افزایش و غلظت ۱۰۰میلی گرم بر لیتر کاهش معنی داری(۰/۳۳میلی گرم بر گرم وزن تر) را نشان داد. علت افزایش رنگیره‌های فتوسنتزی ممکن است به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های مسئول بیوسنتز کلروفیل مانند پروتوکلروفیلید ردوکتاز، عدم تخریب تیلاکوئیدها و ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی‌باشد (Peng *et al*., 2016). همچنین کاروتنوئیدها به عنوان آنتی اکسیدانت عمل‌کرده و از گیاه در برابر گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از استرس اکسیدمس محافظت می نمایند. تغییر در سطح‌کاروتنوئید قسمتی از مکانیسم دفاعی گیاهان به شمار می‌رود (Zhang *et al*, 2024) . اثرنانوذرات اکسیدمس بر افزایش کلروفیل در گیاه رازیانه مرتبط با رهایی یون مس از نانوذرات در گیاه و نقش این عنصر در تشکیل کلروفیل، فتوسنتز، متابولیسم کربوهیدرات ها و نیتروژن گزارش شده است (آمنه نادری و همکارانش ،۱۴۰۱). با این حال قرار گرفتن سویا در معرض ۲۰۰ میلی‌گرم در لیترنانوذرات‌اکسیدمس به طور قابل توجهی باعث کاهش مقدار کلروفیل کل گردیده است (Gautam *et al*., 2016).

میزان قندهای محلول

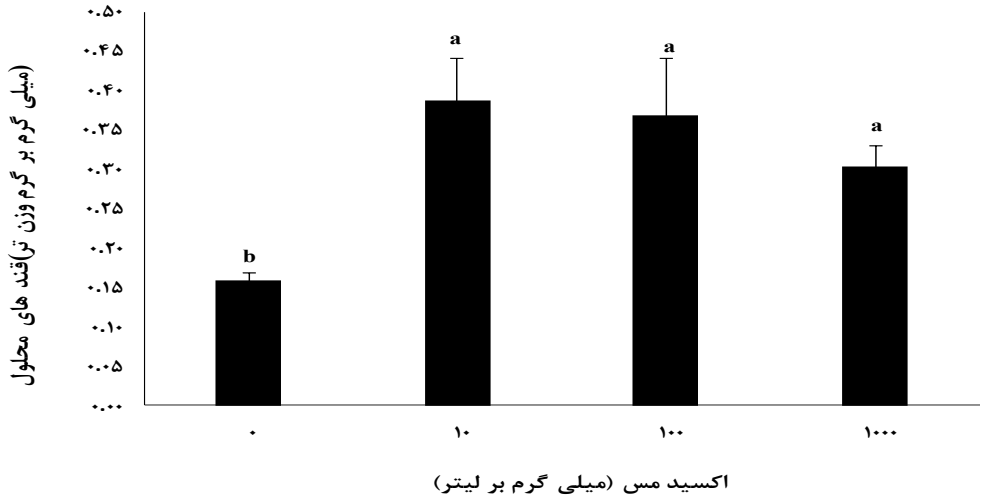
میزان قندهای محلول در همه گروه‌های تیماری نسبت به گروه شاهد(۰ میلی‌گرم بر لیتر) افزایش معنی داری داشته است. کمترین افزایش قند محلول نسبت به گروه شاهد (۰/۱۵۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به غلظت ۱۰۰۰میلی گرم بر لیتر (۰/۳۰۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) و بیشترین میزان قند محلول در نمونه تیمار شده با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر(۰/۳۸۷میلی گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل۳) .قندهای محلول به عنوان محافظ اسمزی عمل کرده، ساختارهای سلولی را تثبیت و تعادل آب را در شرایط تنش حفظ می‌کنند. همچنین به عنوان مولکول‌های سیگنال برای سازگاری با شرایط نامطلوب عمل کرده و بیان ژن های پاسخگو به استرس‌را افزایش می دهند (Varshney *et al*.,2023). نتایج کاملا متضادی از تحقیق بر روی گیاه ماش سبز بدست آمده که‌حاکی از کاهش میزان قندهای محلول در دامنه تیماری ۱۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر نانو ذرات مس بوده و به استراتژی این گیاه در حفظ انرژی جهت پاسخ دفاعی در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

برابر استرس نسبت داده شده است (Singh *et al*., 2017). این تضاد بیانگر استخدام سیستم‌های دفاعی متنوع توسط گیاهان در مواجه با غلظت مشابه نانو اکسیدمس اعمال شده دارد.



شکل۳: اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید مس بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل b و کار تنوئید درگیاهچه‌های هفت روزه کتان



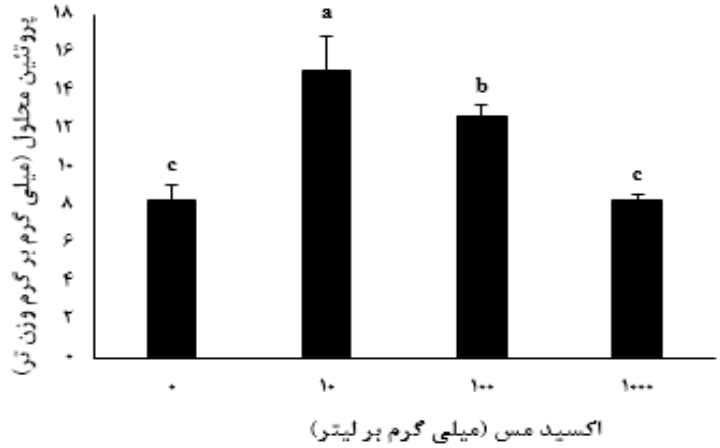
شکل۴: اثرغلظت های مختلف نانوذره اکسیدمس برمیزان قندمحلول درگیاهچه های هفت روزه کتان

میزان پروتئین محلول

طبق نتایج به دست آمده بیش ترین افزایش میزان پروتئین محلول در غلظت ۱۰میلی‌گرم بر لیتر (۱۵/۰۴میلی گرم

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

بر گرم وزن تر) و کمترین افزایش در غلظت ۱۰۰۰میلی‌گرم بر لیتر (۸/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نسبت به گروه شاهد (۸/۲۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۵). پروتئین‌ها محصولات‌نهایی مسیرهای اطلاعاتی سلول هستند که در پاسخ به نیازهای گیاه در شرایط مختلف ساخته شده و در صورت نیاز تخریب می گردند و یا میزان بیان آنها تغییر می یابد. فلزات سنگین می‌توانند به صورت نانو منجر به القا تغییراتی در پروتئین‌کل در گیاه شوند (Ehsanipour and Nejati, 2014). یون‌های مس می توانند به گروه‌های تیول پروتئین متصل و منجر به تغییرات ساختاری در پروتئین‌ها شوند. همچنین سمیت از طریق واکنش فنتون ، جایی که یون‌های مس پراکسید هیدروژن را به رادیکال‌های هیدروکسیل تبدیل می‌کنند نیز باعث آسیب به ماکرومولکول های مجاور می‌شود (Feigl, 2023) . در مطالعه ای با افزایش نانوذرات اکسیدمس مقدار پروتئین دردانه لوبیا چیتی در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت که با نتایج ما همخوانی نشان داد (Behboudi *et al*., 2013).



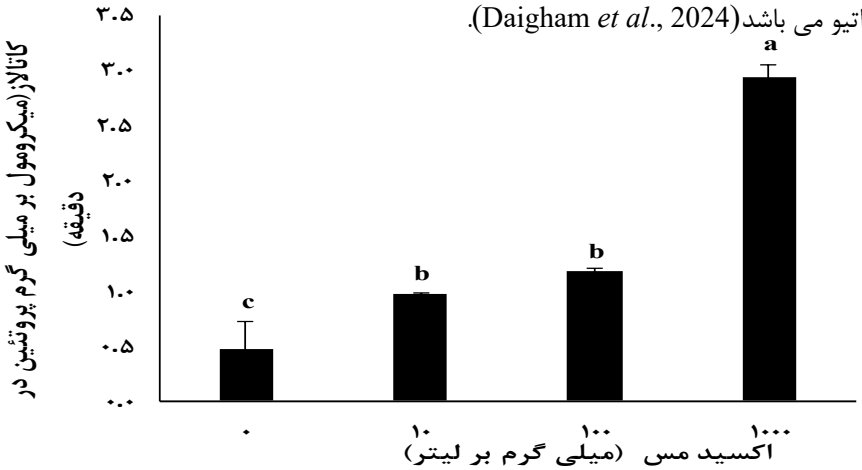
شکل۵: اثرغلظت های مختلف نانوذره اکسیدمس بر میزان پروتئین محلول درگیاهچه‌های هفت روزه کتان

فعالیت آنزیم کاتالاز

طبق نتایج بدست آمده فعالیت آنزیم کاتالاز در همه گروه‌های تیماری در مقایسه با شاهد افزایش چشم‌گیر و معنی داری داشته است.کمترین افزایش فعالیت این آنزیم نسبت به گروه شاهد (۰/۴۷میکرومول برمیلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مربوط به غلظت ۱۰میلی گرم بر لیتر (۰/۹۷ میکرومول برمیلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و بیشترین افزایش مربوط به غلظت ۱۰۰۰میلی گرم بر لیتر (۲/۹۳ میکرومول برمیلی گرم پروتئین در دقیقه) می‌باشد (شکل۶). آنزیم کاتالاز پراکسیدهیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل کرده و از انباشت آن جلوگیری می‌نماید. زیرا انباشت این ترکیب می‌تواند به اجزای سلولی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA آسیب برساند. این آنزیم به عنوان قسمتی از سامانه آنتی اکسیدانتی گیاه را در مقابل گونه-

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

های فعال اکسیژن محافظت می کند(Leung, 2018) . در این مطالعه، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز نشان می دهد که تنش ناشی از نانوذره اکسیدمس باعث افزایش تولید گو نه‌های فعال اکسیژن(ROS) شده است.همچنین کاربردنانوذرات اکسید مس با افزایش فعالیت کاتالاز ، تحمل به خشکی را درپنیرک تقویت نموده است (نصیری و همکاران ،۱۴۰۱). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی یک عامل مهم در تقویت ایمنی فیزیولوژیکی گیاه و محافظت از یکپارچگی سلولی در برابر آسیب اکسیداتیو می باشد(Daigham *et al*., 2024).



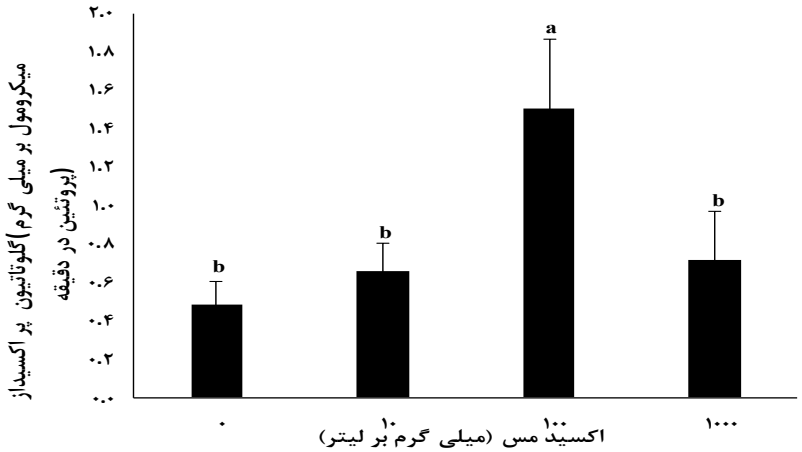
شکل۶: اثرغلظت های مختلف نانوذره اکسیدمس برفعالیت کاتالاز آنزیم درگیاهچه های هفت روزه کتان

فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز

نتایج نشان می دهد کمترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز مربوط به گروه شاهد (۰/۴۸ میکرومول برمیلی گرم پروتئین در دقیقه) و بیشترین آن مربوط به غلظت ۱۰۰میلی‌گرم بر لیتر (۱/۵ میکرومول برمیلی گرم پروتئین در دقیقه) می باشد (شکل۷).گلوتاتیون پراکسیداز آنزیم دیگری در سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه است که به عنوان خط دفاعی ثانویه عمل می‌کند و در رتبه بندی پس از آنزیم‌هایی مانند کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز قرار دارد .این آنزیم پر اکسید هیدروژن تولید شده توسط این آنزیم‌ها را به آب و اکسیژن تبدیل می نماید (Sharma *et al*., 2023). در این مطالعه، افزایش فعالیت آنزیم تا غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نانو مواد اکسیدمس با کاهش معنی‌داری در غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیترهمراهی شد که دلیل آن را می‌توان در تحریک مکانیسم دفاعی گیاهچه‌های کتان در سطح پایین استرس جستجو کرد. این تحریک در سطح بالای استرس ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر به‌دلیل آسیب اکسیداتیو ممانعت شد (Kovacs *et al*., 2025). نتایج حاصل ازآنالیزمیانگین داده‌ها نشان می‌دهد که فعالیت این آنزیم تحت همه غلظت‌های نانو اکسید مس اعمال شده نسبت به گروه شاهد کاهش یافته‌است. بیشترین کاهش فعالیت این آنزیم نسبت به گروه شاهد (۲/۶۶ میکرومول برمیلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مربوط به غلظت ۱۰۰۰میلی‌گرم بر لیتر (۱/۸۴ میکرومول برمیلی‌گرم پروتئین در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

دقیقه) و کمترین کاهش مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲/۱۸ میکرومول برمیلی‌گرم پروتئین در دقیقه) اندازه‌گیری شده‌است (شکل۸). آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز یک آنزیم حاوی هم است که نقش مهمی در اکسیداسیون دامنه وسیعی از ترکیبات آلی ایفا می‌کند (Mishra *et al*., 2023).



شکل۷: اثرغلظت های مختلف نانوذره اکسیدمس برفعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز درگیاهچه های هفت روزه کتان

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

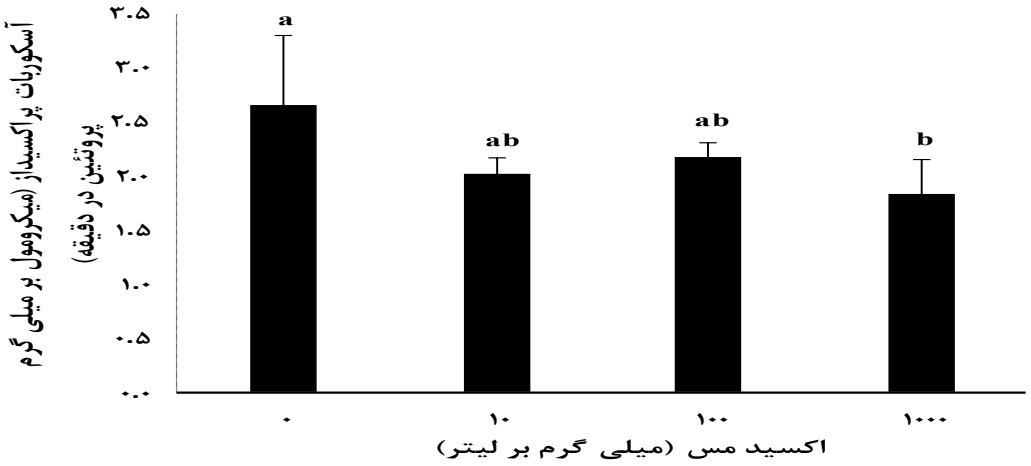
این آنزیم که در سیتوزول و کلروپلاست‌ها وجود دارد، برای حفظ سطح پایدار پراکسید هیدروژن در سلول‌های گیاهی ضروری است و به عنوان یک تنظیم‌کننده کلیدی در این فرایند شناخته می‌شود (Nawaz *et al*., 2021). این آنزیم اکسیداسیون پراکسید هیدروژن به آب را با استفاده از آسکوربات به عنوان اهداکننده الکترون در بخش‌های مختلف زیرسلولی کاتالیز می‌کند (Li and Ahmad, 2023). علاوه بر این، آنزیم به طور قابل توجهی در تنظیم نهایی سیگنالینگ و انتقال پیام‌های سلولی در زمان استرس دخالت دارد (Zaid *et al*., 2020). کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاه کتان را می توان اینگونه توجیه کرد که این آنزیم سهم مهمی در مکانیسم‌های دفاعی مقابله با تنش نانو اکسید مس نداشته و آنزیم ها و عوامل آنتی اکسیدانتی دیگری در این شرایط نقش ایفا می‌کنند. طبق تحقیق بعمل آمده، نانوذرات اکسید مس در گوجه فرنگی در بعضی غلظت‌ها باعث کاهش ودر بعضی باعث افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شده است (López-Vargas *et al*., 2018).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

طبق نتایج به دست آمده بیشترین کاهش آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نسبت به گروه شاهد (۰/۰۷ میکرومول برمیلی گرم پروتئین در دقیقه) مربوط به غلظت ۱۰۰۰میلی گرم بر لیتر (۰/۰۲ میکرومول برمیلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

کمترین کاهش مربوط به غلظت ۱۰۰میلی گرم بر لیتر (۰/۰۴ میکرومول برمیلی گرم پروتئین در دقیقه) می‌باشد (شکل۹). گزارشاتی مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم SOD با افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی ثبت شده است که با نتایج بدست امده از این تحقیق مغایرت دارد (Zhang *et al*., 2017; Ma *et al*., 2016). آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز یک متالوآنزیم است که به عنوان خط اول دفاع در برابرگونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان شناخته می‌شود. در شرایط استرس غیرزیستی به دلیل دسموتاسیون اکسیژن که توسط آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز کاتالیز می گردد، سنتز پراکسید هیدروژن افزایش می یابد که نهایتا" منجر به تولید ROS می‌شود. با این حال، واکنش گیاهان نسبت به فعالیت کلی آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز متفاوت گزارش شده، به طوری که برخی از گونه‌ها افزایش فعالیت را نشان می‌دهند در حالی که دیگران کاهش یا عدم تغییر فعالیت را تجربه می‌کنند. این تنوع نشان‌دهنده عملکرد بین‌گونه‌ای یا درون‌گونه‌ای آنزیم است(Mishra *et al*., 2023).



شکل۸: اثرغلظت های مختلف نانوذره اکسیدمس برفعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز درگیاهچه های هفت روزه کتان

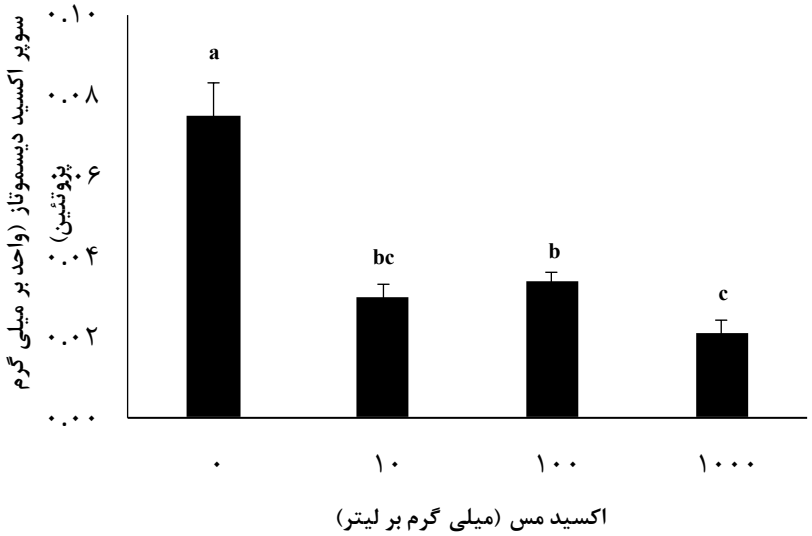
در این تحقیق،کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را می توان به عدم مشارکت این آنزیم در رویارویی با اثرات سمیت نانو اکسیدمس به عنوان مکانیسم دفاعی در گیاه‌کتان ارتباط داد. ظاهرا" این گیاه از افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و مسیرهای آنتی اکسیدانتی دیگری نظیر افزایش در محتوای قند محلول برای سم زدایی گونه‌های فعال اکسیژن در این شرایط استفاده می کند.

میزان پراکسیداسیون چربی ها (MDA)

نتایج حاصل از آنا لیز داده ها نشان می دهد میزان پراکسیداسیون چربی‌ها با فزایش غلظت نانو اکسید مس اعمال شده نسبت به گروه شاهد روند افزایشی داشته است. کمترین و بیشترین میزان پراکسیداسیون چربی ها نسبت به گروه شاهد (۹/۸۹ میکرو مول برگرم وزن تر) به ترتیب مربوط به غلظت های ۱۰۰و ۱۰۰۰میلی گرم بر لیتر (۱۷/۶۹و ۲۶/۱۵ میکرو

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

مول بر گرم وزن تر) می باشد(شکل ۱۰). افزایش غلظت مالون دی آلدئید نشانگر پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی بوده که به عنوان شاخصی برای میزان خسارت‌های ناشی از تنش های اکسیداتیو به کار می‌رود (Hnilickova *et al*., 2021).



شکل۹: اثرغلظت های مختلف نانوذره اکسیدمس بر فعالیت آنزیم سوپراکسیدازدیسموتاز درگیاهچه های هفت روزه کتان

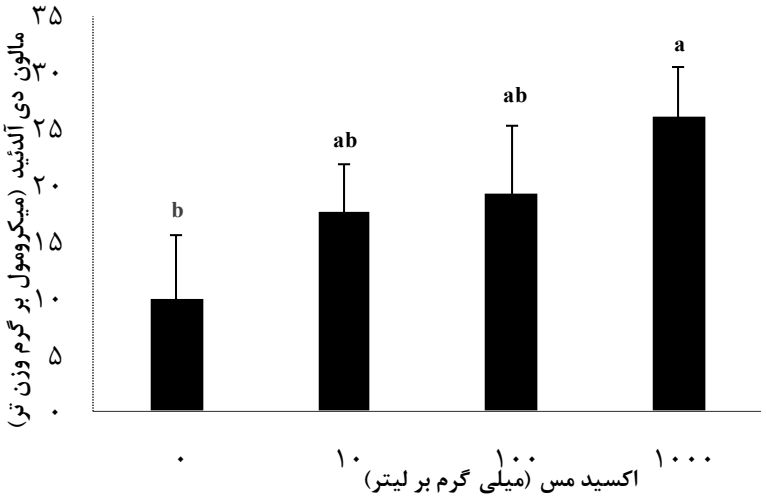
مالون دی آلدئید در نتیجه‌ی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در فسفولیپیدها به ویژه لینولئیک اسید تولید می شود که باعث آسیب غشای سلولی توسط رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Halliwell and Gutteridge, 2015). غلظت‌های بالای نانوذرات اکسیدمس همچنین باعث افزایش تجمع مالون دی آلدئید درگیاهان خیار و رازیانه شده که بیانگر القای تنش اکسیداتیو توسط این نانو ذرات می‌باشد(Mosa *et al*., 2018 ; آمنه نادری و همکاران، ۱۴۰۱). بر خلاف نتایج حاصله از این تحقیق،کاربرد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در گیاه کتان محتوای پر اکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید را کاهش داده است (Baiazidi, 2016).

محتوای فنل کل

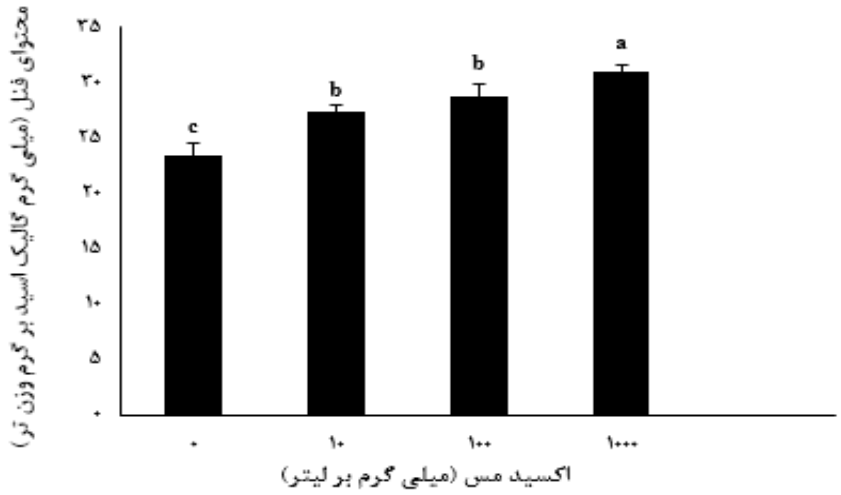
نتایج حاصل از آنا لیز داده‌ها حاکی از روند افزایشی میزان ترکیبات‌فنلی در همراهی با افزایش غلظت نانو اکسیدمس نسبت به گروه شاهد داشته است. بیشترین میزان فنل در غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر (۳۱/۰۶ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر) نسبت به گروه شاهد (۲۳/۳۹ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر) و کمترین آن در غلظت ۱۰میلی گرم بر لیتر (۲۷/۴ میلی گرم گالیک اسید برگرم وزن تر) مشاهده شد (شکل۱۱). پلی فنول‌ها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که از مسیرهایی مانند شیکیمات/ فنیل پروپانوئید مشتق می شوند. افزایش این ترکیبات را درواکنش به تنش نانو ذرات

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

اکسیدمس می توان به قابلیت آنتی اکسیدانی و سمیت زدایی رادیکال‌های اکسیژن آن ها مرتبط دانست که باعث محافظت غشاهای سلولی از پراکسیداسیون می‌شود (Sheteiwy *et al*., 2016; Magray *et al*., 2023).



شکل ۱۰: اثرغلظت های مختلف نانوذرات اکسید مس بر میزان مالون دی الدئید درگیاهچه های هفت روزه کتان



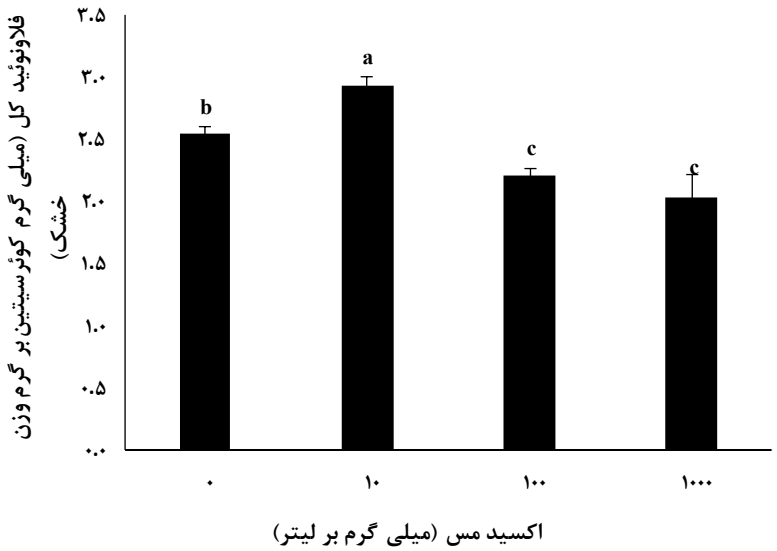
شکل ۱۱: اثرغلظت های مختلف نانوذرات اکسیدمس بر محتوای فنل کل درگیاهچه های هفت روزه کتان

محتوای فلاونوئید کل

نتایج نشان می دهد که نانو ذرات مس درغلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار (۲/۹۴ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) محتوای فلاونوئیدی کل درگیاه کتان نسبت به گروه شاهد (۲/۵۴ میلی گرم کوئرستین برگرم وزن‌خشک) شده که با کاهش در غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲/۲۱ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر (۲/۰۳ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) همراهی شده است (شکل۱۲). فلاونوئیدها در ساختار شیمیایی خود دارای گروه‌های هیدروکسیل می‌باشند که از این رو دهنده‌ی قوی هیدروژن محسوب و به عنوان عوامل آنتی اکسیدانتی شناخته می شوند. این ترکیبات با توانایی احیا کنندگی بالا می توانند با گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن واکنش دهند و از خسارت استرس اکسیداتیو جلوگیری کنند (Karamian *et al*., 2016). در این مطالعه ،دلیل افزایش میزان فلاونوئیدها در غلظت پایین اعمال تنش نانو ذرات مس را می توان به القای مسیر فنیل پروپانوئید ارتباط داد که مسئول سنتز ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و تانن ها از طریق فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیازمی باشد (Yamini *et al*., 2023). همچنین عدم ارتباط مستقیم بین سنتز ترکیبات فنلیو فلاونوئیدی نشان‌دهنده‌ی نقش متفاوت مسیرفنیل‌پروپانوئیددر سنتزمتابولیت‌های ثانویه مختلف است (Ja´nczak-Pienia˙zek *et al*., 2023).



شکل ۱۲: اثرغلظت‌های مختلف نانوذرات اکسیدمس بر محتوای فلاونوئید کل درگیاهچه‌های هفت روزه کتان

جدول ۱:تجزیه واریانس تاثیرات نانوذرات اکسید مس برروی پارامترهای رشدی وبیوشیمیایی اندازه گیری شده درگیاهچه های هفت روزه کتان

		میانگین مربعات						
منبع تغییرات	درجه آزادی	طول اندام هوایی	طول ریشه	کلروفیل	کارتنویید	قندهای محلول	پروتئین محلول	کاتالاز
نانوذرات مس	۳	۳۶.۴۲*	۱۶.۱۷**	۳۲.۴۸*	۱۳۳.۵۴**	۱۲.۱۱*	۲۶.۳۷۳**	۷.۶۸**
اشتباه آزمایشی	۱۴	۰.۴۵	۰.۱۳	۰.۵۴	۰.۰۱	۰.۴	۳.۷۶۰	۰.۲۰
ضریب تغییرات	-	۳.۵۸	۸.۲۱	۶.۵۱	۱۳.۴۸	۷.۲۳	۱.۵۳	۹.۱۵

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

جدول ۲:تجزیه واریانس تاثیرات نانوذرات اکسید مس برروی پارامترهای رشدی وبیوشیمیایی اندازه گیری شده درگیاهچه های هفت روزه کتان

		میانگین مربعات					
منبع تغییرات	درجه آزادی	گلوتاتیون پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	سوپراکسیددیسموتاز	مالون دی آلدیید	فنل کل	فلاونوییدکل
نانوذرات مس	۳	۰.۰۱*	۵۰.۸۶*	۰.۴۲**	۰.۲۷*	۴۸۵۸.۵۶*	۹.۴۶*
اشتباه آزمایشی	۱۴	۰.۰۰۰۴	۱.۲۶	۰.۰۹	۰.۰۰۵	۱۲۸۵.۶۰	۲.۳
ضریب تغییرات		۱.۱۷	۲.۳۴	۲۲.۵۹	۰.۳۶	۱.۰۹	۳.۵۱

*و.** به ترتیب معنی دار در سطح ۵درصد و ۱ درصد

نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد که تحت تاثیر نانوذرات اکسیدمس تغییرات قابل ملاحظه ای را در پارامترهای رشدی و بیوشیمیایی گیاه کتان القاکرده که می توان به کاهش در طول ریشه، کاهش در فعالیت آنزیمهای گلوتاتیون پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتازاشاره کرد. کاهش فعالیت این آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی سبب افزایش پر اکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و درنتیجه خسارت اکسیداتیو به گیاه گردیده است.در واقع کاهش رشدریشه‌چه ها ناشی ازاثرات مخرب نانوذرات اکسیدمس در گیاه کتان می باشد. نتایج مقایسه ی میانگین داده‌ها نیز نشان دادند با افزایش میزان مصرف نانو اکسید مس میزان قند محلول، مقدارپروتئین کل، محتوای فنل کل و فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد روندافزایشی داشته که نشانگر استراتژی گیاه‌کتان در استفاده از مسیرهای منتهی به افزایش این فاکتورها به منظور پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن و ممانعت از خسارت اکسیداتیو به سلول‌های گیاهی است.

سپاسگزاری

نگارنده از دانشگاه ارومیه درحمایت از این طرح تحقیقاتی داخلی تشکر و قدردانی می نماید.

منابع

دیرکوندی ،س .، عیسوند ، ح.، عزیزی، خ .، و اکبرپور، ا .۱۴۰۱ . بررسی اثرات کاربرد نانو ذرات سلیسیوم و مایکروریزا برعملکردکمی و کیفی گندم تحت تنش خشکی انتهای فصل رشد. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، جلد۱۴ ، شماره ۵۴، ص ۱۰۳-۸۳.

نادری،آ.و عموآقایی،ر.۱۴۰۱. اثرنانوذرات اکسید مس و فواصل آبیاری بر پاسخ‌های آنتی اکسیدانی ،اجزای عملکرد دانه و محتوای اسانس گیاه رازیانه .فیزیولوژی گیاهی گروه زیست شناسی دانشگاه شهرکرد. مقاله پژوهشی فرآیند و کارکرد گیاهی ، جلد ۱۲،شماره ۵۶.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

نصیری،م،صفری،ه. و پورهادیان، ح. ۱۴۰۱. بررسی اثر نانوذره مس برخصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه دارویی پنیرک تحت شرایط تنش خشکی .مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، (۸۴)۱۱،ص۳۵-۴۷.

نیک اندیش ،و.، قربانی ،ح.، مجیدیان ،پ. و گرامی،م .۱۴۰۳.نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، جلد ۱۶ ، شماره۶۱ ، ص۸۵-۱۰۱.

یوسف زایی، ف.، پوراکبر، ل.، فرهادی، خ. و مولایی، ر. ۱۳۹۴. تاثیر نانوذرات نقره بر برخی شاخصهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ریحان (*Ocimum bacilicum* L). مجله فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهی ایران. جلد ۱ شماره ۲. ص ۶۳-۷۳.

Abdoli Nejad, R. and Shekafandeh, A. 2014. Salt stress-induced changes in leaf antioxidant activity, proline and protein content in 'Shah Anjir' and Anjir Sabz' fig seedlings. Journal of Horticultural Science and Technology, 1: 121-129.

Arya, S., Rookes, J.E., Cahill, D.M. and Lenka, S.K. 2022. Reduced genotoxicity of gold nanoparticles with protein Corona in *Allium Cepa*. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 10, 849464.

Baiazidi Aghdam, M. T. 2016. The effect of titanium dioxide nanoparticles under conditions of drought stress on morphological and physiological characteristics of *Linum usitatissimum* L. University of Shahid Madani, Azarbaijan, Iran. 3: 104-117.

Batog, J., Wawro, A., Gieparda, W., Bujnowicz, K., Foksowicz-Flaczyk, J., Rojewski, S. and et al. 2023. Effective use of flax biomass in biorefining processes. Applied Sciences, 13 (13), 7359.

Behboudi. F., Allahdadi, E. and Mohamadi Goltape, E. 2013. The effect of vermicompost containing copper oxide (CuO) and Zinc oxide (ZnO) nano-particles on some characteristics of the wax bean. Crop Production, 6 (3): 33-49.

Behnamnia, M., Kalantari, K.M. and Rezanejad, F. 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in (*Lycopersicon esculentum* L). Bulgarian Academy of Sciences, 35: 22-34.

Bernacchia, R., Preti, R. and Vinci, G. 2014. Chemical composition and health benefits of flaxseed. Austin Journal of Nutrition and Food Sciences, 2 (8): 22-26.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72 (1–2): 248-254.

Costa, M.V.J. D.A. and Sharma P.K. 2016. Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*. Photosynthetica, 54 (1): 110-119.

- Daigham, G.E., Mahfouz, A.Y., Abdelaziz, A.M., Nofel,

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

M.M. and Attia, M.S. 2024. Protective role of plant growth-promoting fungi *Aspergillus chevalieri* OP593083 and *Aspergillus egyptiacus* OP593080 as biocontrol approach against *Alternaria* leaf spot disease of *Vicia faba* plant. Biomass Conversion and Biorefinery,14:23073-23089. **Dmitriev, A. A., Pushkova, E. N., Novakovskiy, R. O., Beniaminov, A. D., Rozhmina, T. A., Zhuchenko, A. A.and et al. 2021.** Genome sequencing of fiber flax cultivar Atlant using Oxford Nanopore and Illumina platforms. Frontiers in Genetics, 11, 590282.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Roberts, P.A. and Smit, F. 1956. Colorometric method for determination of sugars and related substances. Journal of Analytical Chemistry, 28: 350-356. **Ehsanipour, A.A. and Nejati, Z. 2014.** The effects of silver nano particle on chlorophyll, gibberellic acid and electrophoresis pattern of proteins of potato (*Solanum tubersum* L.) under in *vitro* culture. Applied Biology, 25(2):13-26.

Farag, M.A., Porzel, A. and Wessjohann, L.A. 2015. Unequivocal glycyrrhizin isomer determination and comparative in vitro bioactivities of root extracts in four Glycyrrhiza species. Journal of Advance Research, 6 (1): 99-104.

Feigl, G. (2023). The impact of copper oxide nanoparticles on plant growth: a comprehensive review. Journal of Plant Interactions, 18(1), 2243098.

Gautam, S., Misra, P., Shukla, P. K. and Ramteke, P. W. (2016). Effect of copper oxide nanoparticle on the germination, growth and chlorophyll in soybean (*Glycine max* L.). Vegetos, 29(Special), 157–160.

Halliwell, B. and Gutteridge, J.M. 2015. Free radicals in biology and medicine. *USA: Oxford University Press.*

Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P. and Hnilicka, F. 2021. Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. Plants, 10(5), 845.

Jankhunthod, S., Kaewket, K., Termsombut, P., Khamdang, C. and Ngamchuea, K. 2023. Electrodeposited copper nanoparticles for creatinine detection via the in-situ formation of copper-creatinine complexes. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 415 (16), 3231–3242.

Karamian, R. and Asadbegy, M. 2016. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of three Onobrychis species from Iran. Pharmaceutical Sciences, 22 (2): 112-119.

Kovács, K., Szierer, Á., Mészáros, E. *et al.* 2025. Species-specific modulation of nitro-oxidative stress and root growth in monocots by silica nanoparticle pretreatment under copper oxide nanoparticle stress. BMC Plant Biology*,* 25, 188.

Lee, W.M., An, Y. J., Yoon, H. and Kweon, H.S. 2008.Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): plant agar test for water-insoluble nanoparticles. Environmental Toxicology and Chemistry, 27(9):1915-21.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

Leung, D.W.M. (2018). Studies of Catalase in Plants Under Abiotic Stress. In: Gupta, D., Palma, J., Corpas, F. (eds) Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants. Springer, Cham.

Li, Z. and Ahammed, G.J. 2023. Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. Plant Stress,10, 100230.

Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 11: 591-592. **López-Vargas, E.R., Ortega-Ortíz, H., Cadenas-Pliego, G., De Alba Romenus, K., Cabrera de la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A. and Juárez-Maldonado, A.2018.** Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and the content of bioactive compounds in tomatoes. Applied Sciences, 8*:*1020.

Ma, C., Liu, H., Guo, H., Musante, C., Coskun, S.H., Nelson, B.C., White, J.C., Xing, B. and Dhankher, O.P. 2016. Defense mechanisms and nutrient displacement in Arabidopsis thaliana upon exposure to CeO2 and In2O3 nanoparticles. Environmental Science: Nano, 3 (6):1369–1379.

Magray, J.A., Sharma, D.P., Deva, M.A. and Thoker, S.A. 2023. Phenolics: Accumulation and role in plants grown under heavy metal stress. In: Lone, R., Khan, S., Mohammed Al-Sadi, A. (eds) Plant Phenolic in Abiotic Stress Management. Springer, Singapore.

Marta Ja´nczak-Pieni ¸a˙zek, Jan Cicho ´nski, Patrycja Michalik and Grzegorz Chrzanowski .2023. Effect of heavy metal stress on phenolic compounds accumulation in winter wheat plants. Molecules, 28, 241.

Mishra, N., Jiang, C., Chen, L., Paul, A., Chatterjee, A. and Shen, G. 2023. Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms. Frontiers in Plant Science. 14, 2023.

More, A. P. 2022. Flax fiber–based polymer composites: a review. Advanced Composites and Hybrid Materials, 5 (3), 1–20.

Mosa, K. A., El-Naggar, M., Ramamoorthy, K., Alawadhi, H., Elnaggar, A., Wartanian, S., Ibrahim, E. and Hani, H. (2018). Copper nanoparticles induced genotoxicy, oxidative dismutase (SOD) gene expression in cucumber (*Cucumis satius*) Plants. Frontiers in Plants Science, 9, 827.

Nawaz, M., Anjum, S.A., Ashraf, U., Azeem, F., Wang, Z. 2021. Antioxidant defense system and reactive oxygen species (ROS) interplay in plants under drought condition *in* Handbook of climate change management (eds. Luetz, J.M., Ayal, D) 93-117 (Springer Nature, 2021).

Pelegrino, M.T., Kohatsu, M.Y., Seabra, A.B., Monteiro, L.R., Gomes, D.G., Oliveira, H.C., Rolim, W.R., de Jesus, T.A., Batista, B.L. and Lange, C.N. 2020. Effects of copper oxide nanoparticles on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedlings and possible implications of nitric oxide in their antioxidative defense. Environmental Monitoring and Assessment, 192(4):232.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

Peng, G., Ellis, J E., Xu, G., Xu, X. and Star, A. 2016. In situ grown TiO2 nanospindles facilitate the formation of holey reduced graphene oxide by photodegradation. ACS Applied Materials & Interfaces, 8(11):7403-7410.

Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., Cazin, M., Cazin, J.C., Bailleul, F. and Trotin, F. 2000. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckweat hulls and flour. Journal of Ethnopharmacology, 72 (1–2): 35-42.

Rajput, V. D., Minkina, T., Suskova, S., Mandzhieva, S., Tsitsuashvili, V., Chapligin, V. and Fedorenko, A. 2018. Effects of copper nanoparticles (CuO NPs) on crop plants: A Mini Review. BioNanoScience, **8**, 36–42.

Ramkumar, T.R., Arya, S., Kumari, D.D. and Lenka, S.K. 2022. *Brassica Juncea* Genome Sequencing: Structural and Functional Insights. In *The Brassica Juncea Genome*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; pp. 221–240.

Salam, A., Khan, A.R., Liu, L., Yang, S., Azhar, W., Ulhassan, Z., Zeeshan, M., Wu, J., Fan, X. and Gan, Y. 2022. Seed Priming with Zinc Oxide nanoparticles downplayed ultrastructural damage and improved photosynthetic apparatus in maize under cobalt stress. Journal of Hazardous Materials, 423, 127021.

Saleem, M.H., Ali, S., Hussain, S., Kamran, M., Chattha, M.S., Ahmad, S., Aqeel, M., Rizwan, M., Aljarba, N.H., Alkahtani, S. et al. 2020. Flax (*Linum usitatissimum* L.): A potential candidate for phytoremediation? Biological and economical points of view. Plants, 9, 496.

Sharma, M.et al. ۲۰۲۳.Paclobutrazol improves the chlorophyll content and antioxidant activities of red rice in response to alkaline stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 23(4), 6429-6444.

- Shekhara, N.R., Anurag, A.P., Prakruthi, M.and Mahesh, M.S.2020. Flax Seeds (*Linum usitatissimmum*): Nutritional composition and health benefits. IP Journal of Nutrition, Metabolism and Health Science, 3(2), 35–40.

Sheteiwy, M., Fu, Y., Hu, Q., Nawaz, A., Guan, Y., Li, Z., Huang, Y. and Hu, J. 2016. Seed priming with polyethylene glycol induces antioxidative defense and metabolic regulation of rice under nano-ZnO stress. Environmental Science and Pollution Research International, 19: 19989–20002.

Singh, A., Hussain, I., Singh, H. and Yadav, V.2017. Synthesis and characterization of copper oxide nanoparticles and its impact on germination of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. Tropical Plant Research. 4(2): 246–253.

Sirotkin AV. Influence of Flaxseed (*Linum usitatissimum*) on Female Reproduction. Planta Med. 2023 May;89(6):608-615.

Thakur P, Thakur A. 2022. Synthesis and Applications of Nanoparticles; 459: 1-17. Springer.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

Turan, N.B., Erkan, H.S., Engin, G.O. and Bilgili, M.S. 2019. Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation, and toxicity- A Review. Process Safety and Environmental Protection, 130: 238-249.

Varshney, V., Singh, J. and Salvi, P.2023. Sugar signaling and their interplay in mitigating abiotic stresses in plant: A molecular perspective. In Smart Plant Breeding for Field Crops in Post-Genomics Era; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 369–393.

Wang, N., Tian, X., Song, P., Guo, W., Zhang, K., Li, J. and Ma, Z. 2024, The influence of cuprous oxide nanoparticles on photosynthetic efficiency, antioxidant responses and grain quality throughout the soybean life cycle. Agronomy, 14, 1821.

Yamini, T., Gautam, C., Kumar, R.and Kaur, M.2023. Phenolic biosynthesis and metabolic pathways to alleviate stresses in plants *in* Plant phenolics in abiotic stress management 63-87 (Springer Nature, 2023).

Zaid, A., Mohammad, F. and Fariduddin, Q. 2020. Plant growth regulators improve growth, photosynthesis, mineral nutrient and antioxidant system under cadmium stress in menthol mint (*Mentha arvensis* L.). Physiology and Molecular Biology of Plants. 26(1), 25–39.

Zhang, P., Ma, Y., Liu, S., Wang, G., Zhang, J., He, X., Zhang, J., Rui, Y. and Zhang, Z. 2017. Phytotoxicity, uptake and transformation of nano-CeO2 in sand cultured romaine lettuce. Environmental Pollution, 220 (PtB):1400–1408.

Zhang, Y., Li, H., Qiu, Y. and Liu, Y. 2024. Bioavailability and toxicity of nano copper oxide to pakchoi (*Brassica Campestris* L.) as compared with bulk copper oxide and ionic copper. Bulletin of Environmental and Contamination Toxicology. 112(4):52.

Zhao, X., Yi, L, Zuo, Y., Gao, F., Cheng, Y., Zhang, H., Zhou, Y., Jia, X., Su, S., Zhang, D., Zhang, X., Ren, Y., Mu, Y., Jin, X., Li, Q., Bateer, S. and Lu, Z. 2023. High-Quality Genome Assembly and Genome-Wide Association Study of Male Sterility Provide Resources for Flax Improvement. Plants (Basel). 12(15):2773.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]

Effects of CuO nanoparticles on growth and biochemical parameters of flaxseed(*Linum Usitatissimum* L.)

L. Nojavan [1]and F.Rahmani [2*]

1 & 2) Biology Department, Urmia University, Urmia Iran.

*** Corresponding author**: **f.rahmani@urmia.ac.ir**

This article is an excerpt from a master's thesis.

Received date: 2024.09.08 **Accepted date: 2024.12.10**

Abstract

Based on the increasing importance and application of nanoparticles and observing their toxic effects, it is essential to investigate the effects of these substances on physiological traits. This study aimed to examine the effects of different concentrations of CuO nanoparticles (0, 10, 100, and 1000 mgL^{-1}) on the growth and biochemical parameters of flaxseed seedlings (*Linum usitatissimum* L.). This study was carried out in the Biology Department of Urmia University based on randomized design with three replications in the glass bottles. Exposure of flaxseed seedlings to CuO nanoparticles resulted in a significant decrease in rootlets at 1000 mgL^{-1} concentration, while hypocotyl measurement indicated the positive effect of increased concentrations of CuO nanoparticles on this parameter. Comparison of the mean data showed increment trend in the amounts of phenol, soluble sugar and lipid peroxidation with rising concentration of CuO, compared to control state. Exposure to CuO nanoparticles enhanced he activity of catalase enzyme, whereas superoxide dismutase and ascorbate peroxidase enzymes exhibited downregulation. The soluble protein and total flavonoid contents displayed significant decrements at 1000 mgL^{-1} of CuO nanoparticles. Evidence from biochemical experiments indicates a strategy of flaxseed seedlings using pathways leading to the increase of these factors in order to prevent plant cells from oxidative stress.

Key words: Antioxidant enzymes, Flavonoid content, Lipid peroxidation and Phenolic content, Soluble sugar

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-04]