مقاله پژوهشی

بررسی اثر نانوذره مس بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه دارویی پنیرک تحت شرایط تنش خشکی

محسن نصیری[۱]، هوشمند صفری[۱] و حسین پورهادیان*[۲]

[۱] گروه گیاهان دارویی، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، کرمانشاه، [۲] گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸)

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر نانوذره مس بر خصوصیات گیاه دارویی پنیرک تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در شرایط گلخانه انجام گردید. فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح بدون تنش و تنش ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و فاکتور دوم نانوذره مس در چهار سطح صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بودند. نتایج نشان داد که بین سطوح خشکی و نانوذره مس مورد بررسی از نظر کلیه صفات اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. همچنین اثر متقابل تنش خشکی و نانوذره در صفات کارتنوئید، کاتالاز، بیوماس، عملکرد بوته و وزن هزار دانه معنی‌دار بود. نتایج نشان‌دهنده واکنش این گیاه به تنش خشکی بود. در بین سطوح مختلف نانوذره مس غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر دارای بیشترین میزان از نظر صفات مورد بررسی بود. در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره مس کارتنوئید، بیوماس، کاتالاز، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح بدون تنش بالاترین میزان را نشان دادند. اما در سطح تنش خشکی این صفات با توجه غلظت‌های نانوذرات کاهش کمتری داشتند. همچنین نتایج نشان داد که سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارای کمترین میزان در صفات مورد بررسی بود و با ایجاد سمیت اثرات منفی بر گیاه داشت. بنابراین می‌توان با استفاده از نانوذره مس با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اثر منفی تنش خشکی را کاهش داد.

کلمات کلیدی: بیوماس، پروتئین، کاتالاز، کلروفیل، وزن هزار دانه

مقدمه

پنیرک از گیاهان دارویی ارزشمند و غنی از ویتامین‌های A، B و C بوده و به‌عنوان یکی از گیاهان مؤثر در کاهش عوارض سرماخوردگی، درمان التهابات تنفسی، مجاری ادراری و گوارشی و نیز جوش‌های پوستی است (شکراللهی و حشمتی، ۱۳۹۵؛ Gasparetto *et al.*, 2012) و دارای خاصیت ضدعفونی‌کنندگی در از بین‌بردن میکروارگانیسم‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک و نیز عامل شیمی درمانی (Razavi *et al.*, 2011)، ضدباکتریایی، ضدقارچی و ضدویروسی علیه بسیاری از پاتوژن‌های انسانی است (Shale *et al.*, 2005). وجود ترکیبات فنولی در عصاره پنیرک سبب ایجاد فعالیت‌های آنتی‌رادیکالی و آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود (طاهانژاد و همکاران، ۱۳۹۱).

تنش خشکی بر تمام جنبه‌های رشد گیاهان مؤثر بوده و موجب تغییرات آناتومی، مرفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی در آنها می‌شود و با توجه به گستردگی مناطق خشک و نیمه‌خشک در جهان و ایران نقش مهمی در رشد و عملکرد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: hpoorhadian@yahoo.com

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

گیاهان دارد (علیزاده، ۱۳۸۵). تنش خشکی باعث اختلال در هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز (جورابی و همکاران، ۱۳۹۹)، فعالیت آنزیم‌ها (برزگر و همکاران، ۱۳۹۹) و رنگدانه‌های فتوسنتزی (میرشکاری و همکاران، ۱۳۹۶) و سایر فعالیت‌های بیولوژیکی و شیمیایی گیاهان می‌شود (احمدی‌آذر و همکاران، ۱۳۹۴؛ زارعی و همکاران، ۱۳۹۹) که این موضوعات منجر به کاهش سطح و تعداد برگ (تمدن کوشکی و ریاست، ۱۴۰۰)، ارتفاع بوته، طول ریشه و عملکرد بیولوژیک می‌گردد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۲) و درنهایت کاهش عملکرد اقتصادی گیاه را در پی دارد (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹). کاهش اثر تنش خشکی بر گیاهان یکی از اهداف مهم کشاورزی است که به روش‌های مختلفی از جمله استفاده از نانوذرات مقدور است (برزگر و همکاران، ۱۳۹۹).

نانوذرات شامل ذرات جامد کلوئیدی با اندازه‌هایی در محدوده یک تا ۱۰۰ نانومتر بوده که از ده‌ها یا هزاران اتم تشکیل شده و به‌عنوان یکی از پرکاربردترین مواد در دانش فن‌آوری نانو به شمار می‌روند (Mohanraj and Chen, 2006). رفتار آنها عمدتاً ناشی از اندازه بسیار کوچک‌شان است (Khan *et al.*, 2019). تغییر در فن‌آوری‌های مربوط به صنعت کشاورزی، مهم‌ترین عامل در ایجاد کشاورزی مدرن است. در این میان فن‌آوری نانو، زمینه مناسبی را در تولید محصولات غذایی و کشاورزی فراهم آورده است (Remya *et al.*, 2010). به‌طوری‌که استفاده از فن‌آوری نانو در کشاورزی موجب افزایش تولید محصولات زراعی، مهار پاتوژن‌های گیاهی، حذف علف‌های هرز و حشرات، کاهش ضایعات محصولات کشاورزی (Xu *et al.*, 2021) و اثر تنش خشکی (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷) شده است.

عناصر کم‌مصرف مثل مس امروزه بیشتر به‌صورت نانوذره در تأمین نیاز غذایی گیاهان بکار برده می‌شوند. مس جز ساختمانی تعدادی از آنزیم‌های اکسیداز مهم شامل سیتوکروم اکسیداز، اسید آسکوربیک اکسیداز و لاکتاز است و در فتوسنتز، متابولیسم پروتئین و کربوهیدرات نقش مهمی دارد. کمبود عنصر مس سبب کاهش فتوسنتز، وزن اندام‌های رویشی و باروری گیاه شده و کاهش عملکرد را در پی دارد (فاجریا، ۱۳۹۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد مصرف نانوذره موجب افزایش مقدار کلروفیل a و b و آنزیم کاتالاز (صابرتنها و همکاران، ۱۳۹۷)، افزایش کارتنوئید (رستمی و همکاران، ۱۳۹۷)، افزایش شدت فتوسنتز (Nekrasova *et al.*, 2011; Hong *et al.*, 2015) می‌شود که این افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه، موجب افزایش رشد (Shah and Belozerova, 2009) و فعالیت‌های موفولوژیکی گیاه شده (رستمی و همکاران، ۱۳۹۷) و باعث افزایش طول ساقه و ریشه (Salama *et al.*, 2021) و بهبود اجزا عملکرد و عملکرد گیاه می‌گردد (فاضلی‌کاخکی و گلدانی، ۱۳۹۷؛ زارعی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Salama *et al.*, 2021). نباید از تأثیرات منفی (سمیت) نانو-ذرات با توجه به نوع نانوذره و یا غلظت‌های مربوطه روی گیاهان غافل شد. گزارش شده مصرف نانوذرات مس موجب کاهش رشد گیاهچه‌های ماش و گندم (Lee *et al.*, 2008) و کدوی زرد (Musante and White, 2012) و زیست‌توده کدوی سبز (Stampoulis *et al.*, 2009) می‌شود. البته اثر منفی یا مثبت نانوذره مس به غلظت مورد استفاده (پرندوار و آسمانه، ۱۳۹۸؛ Liu and Lal, 2015)، نوع گیاه و رقم آن و شرایط خاک بستگی دارد (فاجریا، ۱۳۹۰).

نانوذرات با بهبود اثرات تخریبی تنش خشکی و فعال کردن آنزیم‌ها و جلوگیری از انتشار رادیکال‌های آزاد و نشت الکترولیت شرایط را برای افزایش فعالیت‌های گیاه در تنش خشکی ایجاد می‌کنند (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷)، به‌طوری‌که مطالعات مختلف روی گیاهانی چون گل‌محمدی (سلاح‌ورزی و همکاران، ۱۳۹۹)، لوبیا چیتی (فتح‌اله‌پور گرنگاه و همکاران، ۱۴۰۰)، گندم (برزگر و همکاران، ۱۳۹۹)، بابونه (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ مهدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸؛ فتح‌اله‌پور گرنگاه و همکاران، ۱۴۰۰)، ذرت دانه‌ای (آقایی و همکاران، ۱۴۰۰)، سویا (جورابی و همکاران، ۱۳۹۹)، نخود (قربانی و همکاران، ۱۴۰۰)، کنجد (کرمیان حسن‌آبادی، ۱۴۰۰) و رزماری (تمدن کوشکی و ریاست، ۱۴۰۰) نشان از کاهش اثر منفی تنش خشکی در اثر کاربرد نانوذرات و بهبود کمی و

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

کیفی خصوصیات آنها دارد. بنابراین با توجه اهمیت مطالب فوق این آزمایش به‌منظور بررسی اثر نانوذره مس در شرایط خشکی بر خصوصیات مختلف گیاه دارویی پنیرک طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در شرایط گلخانه در شهر کرمانشاه جهت ارزیابی اثر نانوذره مس بر خصوصیات گیاه دارویی پنیرک تحت شرایط تنش خشکی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (هر سه گلدان به‌عنوان یک واحد آزمایشی) و سه سطح تنش خشکی شامل سطح بدون تنش (شاهد)، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و چهار سطح نانوذره مس شامل صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر انجام گرفت. بذور مورداستفاده از گونه *Malva neglecta* از بانک ژن منابع مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد و بعد از ضدعفونی با قارچ‌کش، به‌منظور جوانه‌زنی در اتاقک رشد و در دمای ۲۵ درجه نگهداری گردید. بذور جوانه‌زده به خاک (ترکیبی از ۵۰ درصد ماسه، ۲۰ درصد خاک و ۳۰ درصد کوکوپیت و پرلیت) داخل گلدان‌هایی به عمق ۶۰ و عرض ۳۰ سانتی‌متر انتقال داده شدند. به‌منظور اعمال تنش پس از محاسبه ظرفیت زراعی خاک (از طریق خاک خشک‌شده قبل از آبیاری منهای وزن خاک پس از آبیاری کامل)، تنش خشکی در سطح بدون تنش، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به کمک اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج، اعمال شد. همچنین در سطوح تنش، سطوح مختلف نانوذره مس نیز در هر مرحله به‌همراه آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید و تمامی گیاهان در مرحله رسیدگی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

در این تحقیق به‌منظور سنتز نانو مس از عصاره گیاه لاله واژگون استفاده شد. این گیاه به‌دلیل خاصیت اکسیدکنندگی قوی برای سنتز نانو مس مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور سنتز نانوذره از عصاره لاله واژگون ابتدا گیاه را چندین بار شستشو داده و در شرایط هوا خشک زیر نور آفتاب خشک کرده به‌طوری‌که کاملاً رطوبت آن از بین برود و سپس برگ‌ها پودر گردیده و جهت سنتز نانوذره مورداستفاده قرار گرفت. مقدار دو گرم از پودر حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۲۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه شده جوشانده شد و سپس عصاره توسط کاغذ واتمن صاف گردید عصاره استخراج‌شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد داخل یخچال قرار داده شد. مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از محلول مس با ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره مخلوط گردید و در دمای اتاق قرار داده شد. بعد از ۳۰ دقیقه محلول به رنگ زرد تا زرد مایل به قرمز در آمد و سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۶۸۰۰ rpm سانتریفیوژ شد و سپس مایه رویی را برداشته و دور ریخته و سه مرتبه با اضافه‌کردن آب یونیزه شد و سانتریفیوژکردن آن را شستشو داده و درنهایت نانو مس تیره خاکستری بدست آمده به‌مدت یک شب در شرایط جریان هوایی به‌منظور خشک‌شدن قرار داده شد و درنهایت به‌مدت ۴۸ ساعت در تحت شرایط خلأ قرار گرفت تا نانوذره کاملاً رطوبت خود را از دست دهد.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید: برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) استفاده شد. طبق این روش ۰/۲۵ گرم برگ گیاه موردنظر در هاون چینی با ازت مایع پودر کرده سپس با ۴ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد در تاریکی کاملاً هموژنیزه گردید. به‌منظور یکنواخت‌شدن محلول بدست آمده، لوله‌ها تکان داده شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه) شدند. سپس مایع رویی نمونه‌ها را داخل پلیت ریخته و با دستگاه پلیت ریدر (Bio Tek Powerwave) در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ خوانده و میزان کلروفیل a، کلروفیل b و میزان کارتنوئید به‌ترتیب به کمک روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند.

$$\text{Chl a} = 12.21\ (A_{663}) - 2.81\ (A_{646}) \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = 20.13\ (A_{646}) - 5.1\ (A_{663}) \quad (2)$$

$$\text{Car} = (1000\ A_{470} - 3.27\ [\text{Chl a}] - 104\ [\text{Chl b}])/227 \quad (3)$$

در این فرمول‌ها Ch1a، Chlb و Car به‌ترتیب میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید و A میزان جذب توسط

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

عصاره‌ها در طول‌موج‌های موردنظر براساس نانومتر هستند.

به‌منظور تهیه ۲۰۰ میلی‌لیتر بافر استخراج، ابتدا ۲/۴۲۸ گرم تریس را با ۰/۲ گرم PVP (Poly Vinyl Pyrrolidone) در ۱۹۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به‌خوبی حل کرده و سپس با اسید کلریدریک pH محلول را به ۸ رسانده و بعد از آن محلول به حجم نهایی ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول بدست آمده در یخچال و دور از نور نگهداری شد. از این بافر برای عصاره‌گیری پروتئین‌های محلول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده شد. برای عصاره‌گیری، ابتدا ۰/۲۵ گرم نمونه برگ در نیتروژن مایع کاملاً خرد شد، سپس یک میلی‌لیتر بافری که قبلاً تهیه شده بود را به آن اضافه شد. مخلوط حاصل دو ساعت در داخل یخچال و سپس به‌مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شد در ادامه دو ساعت دیگر در یخچال و ۳۰ ثانیه ورتکس و در بار سوم ۱۲ ساعت در یخچال و ۳۰ ثانیه ورتکس انجام داده شد. سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور rpm ۱۳۰۰۰ در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ نموده و پس از آن فاز بالایی جهت قرائت محتوی پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیم‌ها جدا شد.

اندازه‌گیری محتوی پروتئین‌های محلول: برای تعیین غلظت پروتئین از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین، ۲۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده را در ۸۰ میکرولیتر بافر استخراج رقیق کرده و ۵ میلی‌لیتر معرف کوماکسی‌بلو تازه به آن افزوده و ۲ دقیقه به‌هم زده و پس از ۵ دقیقه، میزان جذب نوری آن در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2) خوانده و از بافر استخراج به‌عنوان شاهد استفاده شد. غلظت پروتئین محلول در نمونه با توجه به جذب نمونه و با استفاده از منحنی استاندارد بدست آمد. جهت رسم منحنی استاندارد از سرم آلبومین گاوی (BSA) استفاده گردید. برای رسم آن ابتدا ۱۰ میلی‌گرم سرم آلبومین گاوی را داخل ۱۰ میلی‌لیتر از بافر استخراج حل شد (این محلول به‌عنوان محلول ۱۰۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته می‌شود). برای ساختن محلول ۵۰ پی‌پی‌ام، ۵ میلی‌لیتر از محلول ۱۰۰ پی‌پی‌ام را با ۵ میلی‌لیتر بافر استخراج مخلوط شد. در مرحله بعد ۵ میلی‌لیتر از محلول ۵۰ پی‌پی‌ام را با ۵ میلی‌لیتر بافر استخراج مخلوط گردید (محلول ۲۵ پی‌پی‌ام) برای ساختن محلول ۱۲/۵ پی‌پی‌ام، ۵ میلی‌لیتر از محلول ۲۵ پی‌پی‌ام با ۵ میلی‌لیتر بافر استخراج مخلوط شد و از بافر استخراج برای محلول صفر استفاده گردید. در مرحله بعد، از هر غلظت استاندارد ۲۰ میکرولیتر محلول برداشته با ۵ میلی‌لیتر معرف کوماکسی ریخته و به‌مدت ۲ دقیقه با ورتکس به‌هم زده و بعد از ۵ دقیقه در داخل دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2) قرار داده و میزان جذب نوری آن در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده می‌گردد. سپس با توجه به مقادیر جذب نوری و غلظت‌های محلول ذخیره پروتئین منحنی استاندارد رسم گردید و محتوی پروتیئن محلول محاسبه شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز به کمک روش Sinha (۱۹۷۲) با اندکی تغییرات صورت گرفت. در این روش از واکنش کاهشی دی‌کرومات پتاسیم محلول در اسید استیک به کرومیک استات و تشکیل پرکرومیک اسید سبز رنگ در حضور هیدروژن پراکسید و حرارت استفاده شد در این روش ۵۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی رقیق‌شده (نسبت ۱:۴) با یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) مخلوط و با اضافه‌کردن ۵۰۰ میکرولیتر محلول هیدروژن پراکسید ۶۰ میلی‌مولار واکنش آغاز شد. پس از گذشت زمان‌های معین (۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه از شروع واکنش) با استفاده از ۲ میلی‌متر معرف دی‌کرومات (۵ درصد) لوله‌های آزمایش به‌سرعت داخل حمام آب جوش به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و پس از تشکیل رنگ سبز در نمونه‌ها از فاز بالایی محلول‌ها با دستگاه پلیت ریدر در طول‌موج جذبی ۵۷۰ نانومتر خوانده شد. به‌منظور تعیین میزان پراکسید هیدروژن مصرفی توسط آنزیم کاتالاز، منحنی استاندارد به کمک غلظت‌های متفاوت پراکسید هیدروژن رسم شد. محلول‌های ۱۵، ۳۰، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار از پراکسید هیدروژن تهیه و طبق دستورالعمل تیتر شدند و مقدار کمی آنزیم بیان شد.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و عملکرد: برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته به کمک خط‌کش طول ارتفاع پنج بوته از محل طوقه گیاه تا انتهای ساقه اندازه‌گیری شد و با محاسبه

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

میانگین آنها ارتفاع بوته بدست آمد. برای برای اندازه‌گیری طول ریشه، از محل طوقه تا انتهای ریشه به کمک خط‌کش طول ریشه سه بوته اندازه‌گیری با میانگین‌گیری از آنها طول ریشه بدست آمد.

برای تعیین بیوماس در اواخر مرحله رشد زایشی سه بوته انتخاب و هر بوته جداگانه با ترازو با دقت ۰/۰۵ گرم توزین شد و میانگین وزن سه بوته به‌عنوان وزن تک بوته ثبت شد. برای محاسبه وزن هزار دانه پس از برداشت بذور در مرحله خشک‌شدن بوته‌ها، وزن هزار دانه با ترازو با دقت ۰/۰۵ گرم توزین شد به‌عنوان وزن هزار دانه منظور گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد بذر در اواخر مرحله رشد زایشی سه بوته انتخاب و بذر هر بوته جداگانه با ترازو با دقت ۰/۰۵ گرم توزین شد و میانگین وزن بذر سه بوته به‌عنوان وزن بذر تک بوته ثبت شد.

تجزیه و تحلیل اطاعات به کمک نرم‌افزار SPSS و به کمک روش مقایسه میانگین دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر میزان کلروفیل a و b: نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار-بودن اثر ساده تنش خشکی و نانوذره مس بر میزان کلروفیل a و b در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌داربودن اثر متقابل آنها داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها ارائه-شده در جدول ۲ نشان داد با افزایش تنش خشکی مقدار این صفات کاهش یافت و بیشترین میزان در سطح عدم‌تنش خشکی (شاهد) و کمترین در سطح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. اما با مصرف نانوذره مس تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر میزان کلروفیل a و b افزایش یافت و در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دلیل ایجاد سمیت مس در این غلظت کاهش و به کمترین مقدار خود رسید. نتیجه اثر تنش این مطالعه با یافته‌های احمدی‌آذر (۱۳۹۴) در گیاه پنیرک مطابقت داشت. گزارش شده نانوذرات باعث افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌گردند (Belozerova and Shah, 2009). پرندوار و آسمانه (۱۳۹۸) با مطالعه چهار سطح صفر تا ۷۵ میکرومولار سولفات مس در گیاه مریم‌گلی کبیر دریافتند با افزایش مصرف کود مس تا ۲۵ میکرومولار رنگیزه کلروفیلی افزایش و بعد از آن کاهش یافت و آنها این گونه اثر را ناشی از نقش مس در فرآیندهای مرتبط با کلروپلاست دانستند. افزایش میزان کلروفیل a و b در اثر استفاده از نانوذره با مطالعه انجام‌شده در گیاه زعفران (صابرتنها و همکاران، ۱۳۹۷) هماهنگ بود. مهدی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی اثر نانوذرات بر کلروفیل a و b گیاه بابونه کبیر در شرایط تنش دریافتند که مصرف نانوذره باعث افزایش مقدار این رنگدانه‌ها در شرایط تنش نسبت به عدم تنش می‌شود.

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر میزان کارتنوئید: اثر ساده تنش خشکی و نانوذره مس و اثر متقابل این تیمارها بر صفت کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل در صفت کارتنوئید نشان داد تنش خشکی باعث کاهش آن گردیده است اما در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مس کاهش کمتری داشت و مقدار این صفت در سطح تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در تمام سطوح نانوذره به شاهد (عدم تنش) نزدیک‌تر بود (جدول ۳). در مطالعه دیگر مقدار کارتنوئید با افزایش مصرف سولفات مس تا غلظت ۵۰ میکرومولار افزایش و در غلظت ۷۵ میکرومولار یافت (پرندوار و آسمانه، ۱۳۹۸). بکارگیری نانوذره نقره و آهن در شرایط عدم تنش و تنش در گیاه بابونه کبیر باعث افزایش کارتنوئید می‌گردد (مهدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸). گزارش شده با افزایش تنش خشکی در پنیرک (احمدی‌آذر و همکاران، ۱۳۹۴) مقدار کارتنوئید کاهش می‌یابد.

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر فعالیت آنزیم کاتالاز: براساس نتایج جدول ۱، اثر ساده تنش خشکی و نانوذره مس و متقابل این تیمارها بر صفت فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل در صفت فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش آن گردیده است، اما به‌کارگیری سطوح نانوذره اثر کاهشی تنش را جبران کرد. برزگر و

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر نانوذره مس تحت شرایط تنش خشکی بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه پنیرک

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	کاتالاز	پروتئین
تنش	۲	۱۱۰/۰۵۲**	۱۱۸/۶۹**	۲۸۹۹/۸۵**	۰/۹۱**	۰/۵۵**
نانو ذره	۳	۱۹۲**	۱۱۷/۱۴**	۱۹۶۶۶/۰۵**	۱/۲۹**	۰/۸۸**
نانو × تنش خشکی	۶	۳/۳۲۹^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۶۶۸/۱۱**	۰/۰۲**	۰/۰۱^{ns}
خطا	۲۴	۷/۰۸۲	۴/۲۸	۴۶/۵۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۱۳	۹/۷۳	۷/۹۱	۶/۳۰	۵/۰۱

*، ** **به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار**

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ریشه	ارتفاع	وزن هزار دانه	بیوماس	عملکرد بوته
تنش	۲	۲۲۱/۶۰**	۱۷۶/۱۶**	۰/۵۷**	۳۰۲۰/۱۸**	۵۶۵/۰۲**
نانو ذره	۳	۴۶/۱۲**	۱۰۷/۸۳**	۱/۸۱**	۱۵۹۶۷/۱۷**	۵۵۳/۳۲**
نانو × تنش خشکی	۶	۶/۱۵^{ns}	۰/۴۲^{ns}	۰/۰۱**	۱۲۵/۰۱**	۲۰/۷۸*
خطا	۲۴	۶/۹۵	۱/۱۶	۰/۰۰۱	۱۷/۳۳	۷/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۶۶	۷/۵۱	۶/۸۸	۱۱/۴۹	۹/۰۲

*، ** **به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار**

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر نانوذره مس و شرایط تنش خشکی بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه پنیرک

تیمار	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	کاتالاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین)	پروتئین (میلی‌گرم در میلی‌گرم ورن تر)
	(میلی‌گرم در گرم وزن تر)				
تنش خشکی (درصد)					
شاهد (۰)	۴۰/۰۳^{a}	۲۴/۳۱^{a}	۲۴۹/۸۵^{a}	۱/۷۷^{a}	۲/۳۱^{a}
۷۵	۳۷/۸۶^{b}	۲۱/۴۵^{ab}	۲۳۵/۶۱^{b}	۱/۵۱^{b}	۲/۱۵^{a}
۵۰	۳۴/۰۵^{c}	۱۸/۰۳^{b}	۲۱۸/۸۰^{c}	۱/۲۲^{c}	۱/۸۹^{ab}
نانوذره (میلی‌گرم در لیتر)					
۰	۳۷/۳۶^{ab}	۲۱/۶۱^{ab}	۲۵۸/۱۰^{a}	۱/۴۷^{b}	۲/۱۰^{ab}
۱۰	۳۸/۰۷^{ab}	۲۲/۰۳^{ab}	۲۵۶/۰۲^{a}	۱/۷۳^{ab}	۲/۲۲^{ab}
۵۰	۴۲/۵۳^{a}	۲۵/۰۴^{a}	۲۶۰/۲۰^{a}	۱/۸۳^{a}	۲/۴۴^{a}
۱۰۰	۳۱/۲۹^{b}	۱۶/۳۶^{b}	۱۶۴/۶۸^{b}	۰/۹۸^{c}	۱/۷۰^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، براساس آزمون دانکن در احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

همکاران (۱۳۹۹) با بررسی اثر نانوکلات پتاسیم در شرایط کم آبی دریافتند با افزایش مصرف نانوکلات پتاسیم فعالیت آنزیم کاتالاز در گندم افزایش می‌یابد. کاهش اثر منفی تنش خشکی در گیاه بابونه به‌وسیله نانوذره آهن توسط آزاد و همکاران(۱۳۹۷) گزارش شد.

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر میزان پروتئین: نتایج

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

ادامه جدول ۲-

تیمار	طول ریشه	ارتفاع	وزن هزار دانه	بیوماس	عملکرد دانه
	(سانتی‌متر)		(گرم)		
تنش خشکی (درصد)					
شاهد (۰)	۳۹/۱۸^{a}	۴۴/۹۹^{a}	۲/۱۰^{a}	۲۹۵/۹۶^{a}	۷۳/۳۳^{a}
۷۵	۳۳/۲۴^{ab}	۴۳/۰۲^{b}	۱/۹۶^{b}	۲۷۹/۳۹^{b}	۶۵/۱۰^{b}
۵۰	۳۰/۸۴^{ab}	۳۷/۵۹^{c}	۱/۶۸^{ab}	۲۶۴/۲۴^{c}	۵۹/۷۰^{c}
نانوذره (میلی‌گرم در لیتر)					
۰	۳۴/۲۳^{ab}	۴۰/۸۶^{ab}	۲/۱۰^{ab}	۲۹۴/۶۷^{ab}	۶۸/۵۹^{ab}
۱۰	۳۵/۱۱^{ab}	۴۲/۱۳^{ab}	۲/۱۲^{ab}	۲۹۷/۷۳^{ab}	۶۹/۲۴^{ab}
۵۰	۳۶/۸۸^{a}	۴۶/۴۰^{a}	۲/۱۹^{a}	۳۰۹/۶۳^{a}	۷۱/۸۷^{a}
۱۰۰	۳۱/۴۵^{b}	۳۸/۰۸^{b}	۱/۲۴^{c}	۲۱۷/۴۳^{c}	۵۴/۴۸^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، براساس آزمون دانکن در احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳- اثر متقابل تنش خشکی و نانوذره مس بر برخی صفات کمی و کیفی پنیرک

تنش	نانوذره	میانگین				
		کارتنوئید	کاتالاز	وزن هزار دانه	بیوماس	عملکرد دانه
عدم تنش (شاهد)	۰	۲۶۳/۲۶^{a}	۱/۸۴^{a}	۲/۳۲^{a}	۳۰۸/۰۴^{a}	۷۴/۶۵^{a}
	۱۰	۲۶۴/۱۸^{a}	۱/۹۲^{b}	۲/۳۴^{a}	۳۱۳/۴۸^{a}	۷۶/۰۳^{ab}
	۵۰	۲۶۹/۲۸^{b}	۲/۰۵^{c}	۲/۳۷^{a}	۳۲۰/۶۲^{b}	۷۷/۲۵^{b}
	۱۰۰	۲۰۲/۶۸^{c}	۱/۲۶^{d}	۱/۴۰^{b}	۲۴۱/۷۰^{c}	۶۵/۳۸^{c}
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	۰	۲۶۰/۱۸^{a}	۱/۴۹^{a}	۲/۱۰^{a}	۲۹۳/۴۲^{a}	۶۷/۷۹^{a}
	۱۰	۲۵۶/۰۲^{a}	۱/۷۸^{b}	۲/۱۴^{a}	۲۹۴/۸۰^{a}	۶۸/۱۰^{ab}
	۵۰	۲۶۱/۴۲^{a}	۱/۸۲^{b}	۲/۲۶^{a}	۳۱۰/۴۲^{b}	۷۰/۵۸^{b}
	۱۰۰	۱۶۴/۱۸^{b}	۰/۹۷^{c}	۱/۳۴^{b}	۲۱۸/۹۲^{c}	۵۳/۹۳^{c}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۰	۲۵۰/۲۴^{a}	۱/۰۶^{a}	۱/۸۸^{a}	۲۸۲/۵۴^{a}	۶۳/۳۳^{a}
	۱۰	۲۴۷/۸۶^{a}	۱/۵۰^{b}	۱/۹۰^{a}	۲۸۴/۸۲^{a}	۶۳/۶۰^{a}
	۵۰	۲۴۹/۹^{a}	۱/۶۱^{c}	۱/۹۴^{a}	۲۹۷/۸۴^{b}	۶۷/۷۷^{b}
	۱۰۰	۱۲۷/۱۸^{b}	۰/۷۱^{d}	۰/۹۹^{b}	۱۹۱/۶۷^{c}	۴۴/۱۲^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، براساس آزمون دانکن در احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

حاصل از تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داربودن اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر میزان پروتئین در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌داربودن اثر متقابل آنها داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش تنش، میزان پروتئین کاهش یافت. به‌طوری‌که بیشترین میزان در سطح شاهد (عدم تنش) و کمترین میزان در صفت مربوط به سطح تنش ۵۰ ظرفیت زراعی بود. اما با افزایش مصرف نانوذره مس تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر میزان پروتئین افزایش و سپس کاهش یافت و

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

بیشترین میزان این صفت در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. البته بین شاهد با سطح ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی رادیکال‌های آزاد و آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین افزایش یافته و موجب تغییر اسیدآمینه و کاهش سنتز پروتئین می‌گردد (Ranjan *et al.*, 2001). آزاد و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی میزان پروتئین در گیاه بابونه کاهش می‌یابد. همچنین جورابی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که با افزایش تنش، مقدار پروتئین کاهش یافت. گزارش شده نانوذره با کاهش میزان رادیکال‌های آزاد و حفاظت از مولکول‌های مرتبط با پروتئین و سلول‌ها، شرایط را برای افزایش پروتئین آماده می‌کند (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین مصرف نانوذره موجب افزایش پروتئین در شرایط تنش می‌شود (کرمیان حسن‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۰).

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر طول ریشه: نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان از معنی‌داربودن اثر تنش خشکی و نانوذره مس روی طول ریشه در سطح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری اثر متقابل این دو تیمار داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر سطوح تنش خشکی و سطوح نانوذره مس روی صفت طول ریشه نشان داد با افزایش تنش طول ریشه کاهش اما با افزایش نانوذره تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین این صفت به‌ترتیب در شاهد (عدم تنش خشکی) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. اما بیشترین طول ریشه در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مس و کمترین در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد که نشان‌دهنده وجود اثر سمیت در این غلظت است. البته غلظت شاهد (بدون نانوذره مس) با سطح ۱۰ از نظر صفت مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). مصرف مس در مقادیر زیاد ظرفیت گیاهان برای جذب و یا انتقال سایر عناصر غذایی را دچار اختلال می‌کند و از طویل‌شدن ریشه جلوگیری می‌کند (فاجریا، ۱۳۹۰). تنش خشکی به‌دلیل اختلالی که در جذب مواد غذایی (فاجریا، ۱۳۹۰) و سیستم فتوسنتزی (جورابی و همکاران، ۱۳۹۹) ایجاد می‌کند مواد لازم برای رشد اندام‌های گیاه از جمله ریشه را کاهش می‌دهد اما مصرف نانو-ذره باعث بهبود سیستم فتوسنتزی از طریق تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم‌ها (مهدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸) می‌شود و سبب رشد بهتر رشد ریشه می‌شود. این نتیجه با یافته دیگران (احمدی‌آذر و همکاران، ۱۳۹۴؛ Salama *et al.*, 2021) مطابقت داشت. کاهش طول ریشه در اثر تنش در گیاه ترخون نیز گزارش شده است (لطفی و همکاران، ۱۳۹۲).

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی و نانوذره مس روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اما اثر متقابل این تیمارها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین میزان در سطح شاهد (عدم تنش) و کمترین آن در سطح تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. نتایج بررسی مصرف سطوح مختلف نانوذره مس حاکی از این بود که با مصرف نانوذره تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ارتفاع بوته افزایش یافت و بعد از آن کاهش نشان داد و بیشترین ارتفاع بوته در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد (جدول ۲). تنش خشکی با کاهش طول میان‌گره کاهش ارتفاع را سبب می‌شود، اما مصرف نانوذره موجب بهبود فتوسنتز و رشد گیاه شده و افزایش ارتفاع را موجب می‌گردد. مصرف زیاد نانوذره (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در گیاه ایجاد سمیت کرده و کاهش ارتفاع بوته را در پی دارد. چنین نتیجه‌ای توسط دیگران (پرندوار و آسمانه، ۱۳۹۸؛ Salama *et al.*, 2021) نیز گزارش شد. همچنین کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش خشکی توسط لطفی و همکاران (۱۳۹۲) و افزایش ارتفاع بوته در اثر مصرف نانوذره توسط رستمی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش شده است.

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر وزن هزار دانه: نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ گواه بر معنی‌داربودن اثر ساده تنش خشکی و نانوذره مس و اثر متقابل آنها روی وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

اثرات متقابل تنش خشکی و نانوذره مس بر صفت وزن هزار دانه نشان داد که تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره مس تأثیر منفی کمتری بر صفت وزن هزار دانه داشت و نتایج به شاهد نزدیک‌تر بود (جدول ۳). هر عامل محیطی از جمله تنش که باعث کاهش جذب آب و مواد غذایی و انجام فتوسنتز توسط گیاه شود کاهش وزن هزار دانه را در پی دارد و عاملی مانند نانوذره که بهبوددهنده رشد گیاه باشد موجبات افزایش وزن هزار دانه را مهیا می‌کند. کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی و افزایش آن در مصرف نانوذره توسط دیگران نیز گزارش شده است (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹؛ آقایی و همکاران، ۱۴۰۰).

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر بیوماس: بررسی نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تنش خشکی و نانوذره مس و اثر متقابل این دو تیمار روی بیوماس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحلیل مقایسه میانگین اثرات متقابل بر صفت بیوماس نشان داد تنش خشکی باعث کاهش آن گردیده است اما مصرف نانوذره تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره مس این اثر منفی را کاهش داد (جدول ۳). این نتیجه ناشی از تأثیر منفی تنش خشکی بر فعالیت فتوسنتزی گیاه است ولی نانوذره مس موجب افزایش فعالیت‌های آنزیمی و رنگیزه کلروفیلی می‌شود و به سبب بهبود رشد اندام‌های مختلف گیاه، اثر منفی تنش خشکی را کاهش داده و افزایش بیوماس را در پی دارد. چنین نتیجه‌ای توسط احمدی‌آذر و همکاران (۱۳۹۴) و زارعی و همکاران (۱۳۹۹) نیز گزارش شده است اما مصرف نانوذرات مس موجب کاهش زیست‌توده کدوی سبز (Stampoulis *et al.*, 2009) شد که اختلاف در نتایج این دو تحقیق ناشی از تفاوت در نوع و میزان مصرف نانوذره مس است.

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر عملکرد بوته: تجزیه و تحلیل داده‌ها بیانگر معنی‌داربودن اثر ساده تنش خشکی و نانوذره مس بر عملکرد بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل این تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل بر صفت عملکرد بوته نشان داد تنش خشکی باعث کاهش آن می‌گردد اما این کاهش در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره مس نسبت به دیگر غلظت‌های نانوذره کمتر بود و مقدار عملکرد در سطح تنش خشکی ۷۵ درصد نسبت تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در تمام سطوح غلظت نانوذره مس به شاهد (بدون تنش) نزدیک بود (جدول ۳). تنش خشکی به‌واسطه کاهش فعالیت فتوسنتزی، تعداد و سطح برگ و طول دوره رشد رویشی موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود اما نانوذره با بهبود این فعالیت‌ها عملکرد دانه را افزایش داده و اثر منفی تنش را خنثی می‌کند. نتایج مطالعه‌های مختلف (میرشکاری و همکاران، ۱۳۹۶) نشان داد تنش خشکی باعث کاهش عملکرد می‌گردد ولی مصرف نانوذره موجب بهبود عملکرد می‌شود (فاضلی‌کاخکی و گلدانی، ۱۳۹۷؛ Salama *et al.*, 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده واکنش گیاه پنیرک به تنش خشکی بود هر چند با توجه به وحشی‌بودن گیاه میزان کاهش صفات در تنش خشکی نسبت به سایر گیاهان مشابه کمتر بود. تأثیر برخی غلظت‌های نانوذره نیز در تنش به‌صورت مثبت ارزیابی گردید. به‌صورتی‌که با افزایش میزان غلظت نانوذره مس تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر میزان صدمه در شرایط تنش نسبت به حالت بدون استفاده از نانوذره کمتر بود. بنابراین می‌توان با به‌کارگیری نانوذره مس تا غلظت معین اثر تنش خشکی بر گیاه پنیرک را کاهش داد و در شرایط خشک و نیمه‌خشک از این گیاه بهره لازم را بدست آورد.

منابع

احمدی‌آذر، ف.، حسنلو، ط.، ایمانی، ع. و فیضی‌اصل، و. (۱۳۹۴) تنش خشکی و کاربرد زئولیت معدنی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه (*Malva sylvestris*) پنیرک. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۸: ۴۷۴-۴۵۹.

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

آزاد، ح.، فاخری، ب. ع.، مهدی‌نژاد، ن. و یرمون، ق. (۱۳۹۷) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانوکلات آهن بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گل اکوتیپ‌های با بونه (*Matricaria chamomilla* L.). مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۲۶: ۲۳۷-۲۲۳.

آقایی، پ.، ویسانی، و. و دیانت، م. (۱۴۰۰) تأثیر نانوسیلیکات پتاسیم بر رشد و عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) تحت تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۳۴۵-۳۳۱.

برزگر، ز.، قاسمیان، ع. ز.، رئیسی‌ساداتی، س. ی. و اسداله اسدی، ا. (۱۳۹۹) بررسی اثرات نانوکلات پتاسیم بر میزان قند محلول، پرولین، پروتئین کل و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش کم‌آبی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۳۶: ۶۲-۴۹.

پرندوار، م. و آسمانه، ط. (۱۳۹۸) بررسی اثر مس بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه مریم‌گلی کبیر (*Salvia sclarea* L.). مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۳۰: ۱۵-۱.

تمدن کوشکی، ل. و ریاست، م. (۱۴۰۰) تأثیر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و ترکیبات فنلی گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۴۴۸-۴۳۹.

جورابی، س.، عیسوند، ح. ر.، اسماعیلی، ا. و نصرالهی، ع. ح. (۱۳۹۹) بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات روی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک و عملکرد پروتئین و دانه سویا در تنش کم آبیاری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۳۵: ۸۶-۷۳.

رستمی، ق.، مقدم، م.، قاسمی‌پیربلوطی، ع. و تهرانی‌فر، ع. (۱۳۹۷) اثر محلول‌پاشی آهن و روی به فرم‌های ذرات سولفاته و نانوذرات بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی فلفلی (*Mentha piperita* L.) تخت تنش شوری. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۳: ۷۲۰-۷۰۷.

زارعی، ع.، سینکی، ج. م.، امینی‌دهقی، م. و علی دماوندی، ع. (۱۳۹۹) ارزیابی صفات بیوشیمیایی و زراعی ارقام کنجد تحت اثر کاربرد نانوکود فسفر و کیتوزان در شرایط قطع آبیاری. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۴۸۹-۴۷۱.

سلاح‌ورزی، ی.، کمالی، م. و احمدپور، ح. (۱۳۹۹) بررسی اثر دیاکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر گلدهی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل‌محمدی (*Rosa damascena*) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۳۸: ۱۵۵-۱۴۳.

شکراللهی، ش. و حشمتی، غ. (۱۳۹۵) مروری بر جنبه‌های مختلف گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris*) و یافته‌های تحقیقات نوین. مجله دانشکده علوم پزشکی نیشابور ۱: ۸-۱.

صابرتنها، ب.، فاخری، ب.، مهدی‌نژاد، ن. و علیزاده، ز. (۱۳۹۷) اثر نانوذرات نقره بر صفات فیزیولوژیک برخی اکوتیپ‌های زعفران (*Crocus sativus* L.) خراسان جنوبی تحت تنش کم‌آبی ملایم. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۱: ۶۴۳-۶۲۷.

طاهانژاد، م.، برزگر، م.، سحری، م. ع. و نقدی‌بادی، ح. (۱۳۹۱) ارزیابی فعالیت آنتی‌رادیکالی عصاره پنیرک (*Malva sylvestris* L.) و کاربرد آن در سامانه روغن. فصلنامه گیاهان دارویی ۴۲: ۹۷-۸۶.

علیزاده، ا. (۱۳۸۵) رابطه آب و خاک و گیاه. دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

فاجریا، ن. ک. (۱۳۹۰) کاربرد مواد معدنی در تغذیه گیاهان زراعی. ترجمه کامکار، ب.، صفاهانی لنگرودی، ع. ز. و محمدی، ر. انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

فاضلی‌کاخکی، س. ف. و گلدانی، م. (۱۳۹۷) اثر نانوذرات اکسید روی در بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و اجزای عملکرد سویا (*Glycine max* L.) رقم ویلیامز تحت تنش شوری. فصلنامه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۲: ۲۶۸-۲۵۳.

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

فتح‌اله‌پور گرنگاه، م.، رشیدی، و.، میرشکاری، ب.، خلیلوند، ا. و فرحوش، ف. (۱۴۰۰) بررسی اثر عناصر روی و آهن به فرم نانو بر رشد و عملکرد ارقام لوبیا تحت تنش کم‌آبی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۳۵۸-۳۴۷.

قربانی، ر.، موافقی، ع.، گنجعلی، ع. و نباتی، ج. (۱۴۰۰) تأثیر نانوذرات دیاکسید تیتانیوم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت شرایط تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱: ۹۸-۸۵.

کرمیان حسن‌آبادی، ز.، عیسوند، ح. ر.، دانشور، م. و اکبرپور، ا. ع. (۱۴۰۰) بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن بر صفات کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۳۸۶-۳۷۵.

لطفی، م.، عباس‌زاده، ب. و میرزا، م. (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، پرولین، قندهای محلول و عملکرد ترخون (*Artemisia dracunculus* L.). دو ماهنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۱: ۲۹-۱.

مهدی‌نژاد، ن.، موسوی، ح.، فاخری، ب. ع. و حیدری، ف. (۱۳۹۸) تأثیر نانوذرات بر تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ماده مؤثره پارتنولید گیاه بابونه کبیر (*Tanacetum parthenium* L.) تحت تنش کم‌آبی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۲۹: ۲۲۷-۲۱۹.

میرشکاری، م.، عینعلی، ع. و ولیزاده، ج. (۱۳۹۶) پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*)به تنش خشکی در حضور هورمون سالیسیلیک اسید. مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران ۹: ۳۸-۲۱.

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: 248-254.

Gasparetto, J. C., Martins, C. A. F., Hayashi, S. S., Otuky, M. F. and Pontarolo, R. (2012) Ethnobotanical and scientific aspects of *Malva sylvestris* L.: A millennial herbal medicine. Journal of Pharmacy and Pharmacology 64: 172-189.

Hong J., Wang, L., Sun, Y., Zhao, L., Niu, G., Tan, W., Ricod, C. M., Peralta-Videa, J. R. and Gardea-Torresdey, J. L. (2015) Foliar applied nanoscale and microscale CeO_2 and CuO alter cucumber (*Cucumis sativus*) fruit quality. Science of the Total Environment (in press).

Khan, I., Saeed, Kh. and Idrees Khan, I. (2019) Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. Arabian Journal of Chemistry 7: 908-931.

Lee, W., 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: 1915-1921.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-591.

Liu, R. and Lal, R. (2015) Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the. Total Environment 514: 131-139.

Mohanraj, V. J. and Chen, Y. (2006) Nanoparticles- a review. Tropical Journal of Pharmaceutical Research 1: 561-573.

Musante, C. and White, J. C. (2012) Toxicity of silver and copper to *Cucurbita pepo*: Differential effects of nano and bulk-size particles. Environmental Toxicology 27: 510-517.

Nekrasova, G. F., Ushakova, O. S., Ermakov, A. E., Uimin, M. A. and Byzov, I. V. (2011) Effects of copper (II) ions and copper oxide nanoparticles on *Elodea densa* Planch. Russian Journal of Ecology 42: 58-463.

Ranjan, R., Bohra, S. P. and Jeet, A. M. (2001) Book of Plant Senescence. Jodhpur, Agrobios New York.

Razavi, S. M., Zarrini, G., Molavi, G. and Ghasemi, G. (2011) Bioactivity of *Malva sylvestris* L., a medicinal plant from Iran. Iranian Journal of Basic Medical Sciences 6: 574-579.

Remya, N., Saino, H. V., Baiju, G., Nair, T., Maekawa, Y., Yoshida, D. and Kumar, S. (2010) Nanoparticulate material elivery to plants. Plant Science 179: 154-163.

Salama, D. M., Abd El-aziz, M. E., EL-Naggar, M. E. and Shaaban, E. A. (2021) Synthesis of an eco-friendly nanocomposite fertilizer for common bean based on carbon nanoparticles from agricultural waste biochar. Pedosphere 31: 923-933.

Shah, V. and Belozerova, I. (2009) Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water, Air, and Soil Pollution 197: 143-148.

Shale, T. L., Stirk, W. A. and van Staden, J. (2005) Variation in antibacterial and anti inflammatory activity of different growth forms of *Malva parviflora* and evidence for synergism of the anti-inflammatory compounds. Journal of Ethnopharmacology 96: 325-330.

Sinha, A. (1972) Colorimetric assay of catalase. Analyrical Biochemistry 47: 389-394.

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

Stampoulis, D., Sinha, S. K. and White, J. C. (2009) Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. Environmental Science and Technology 43: 9473-9479.

Xu, J., Phillips, R., Alarcon, H. and Kumar, S. (2021) Current and emergent analytical methods for monitoring the behavior of agricultural functional nanoparticles in relevant matrices: A review. Current Opinion in Chemical Engineering 33: 100706.

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]

An investigation the effect of copper nanoparticles on morphological, physiological, biochemical properties and yield of Mallow under drought stress conditions

Mohsen Nasiri [1], Hooshmand Safari [1] and Hossein Pourhadian [*2]

[1] Department of Medicinal Plants, Jihad University Institute of Higher Education, Kermanshah,
[2] Department of Agriculture, Payam Noor University, Iran
(Received: 12/09/2021, Accepted: 29/12/2021)

Abstract

To evaluate the effect of copper nanoparticles on the characteristics of mallow under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions in 2017. The first factor of drought stress included three levels without stress and 75 and 50% of field capacity and the second factor was copper nanoparticles at four levels of 0, 10, 50, and 100 mg/lit. The results showed that there was a significant difference between the levels of drought and copper nanoparticles for all of the traits. Also, the interaction effect of drought stress and nano-particle was significant on carotenoid, catalase, biomass, plant yield, as well as 1000-grain weight. The results showed that this plant did respond to drought stress. Among the different levels of copper nanoparticles, the concentration of 50 mg/lit had the highest rate. At a concentration of 50 mg/lit nanoparticles of copper, carbon dioxide, biomass, catalase, 1000-grain weight, and grain yield showed the highest levels of stress-free surface, but at the dry stress level, these properties decreased less due to nanoparticle concentrations. The results also showed that 100 mg/lit level had the lowest levels in the studied traits and harmed the plant by toxicity. Therefore, it can reduce the negative effect of drought stress using copper nanoparticles with a concentration of 50 mg/lit.

Keywords: Biomass, Protein, Catalase, Chlorophyll, 1000-grain weight

Corresponding author, Email: hpoorhadian@yahoo.com

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.3.4]