

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

محسن نصیری<sup>۱</sup>، هوشمند صفری<sup>۱</sup> و حسین پورهادیان<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه گیاهان دارویی، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، کرمانشاه، <sup>۲</sup> گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

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

### چکیده

به منظور ارزیابی اثر نانوذر مس بر خصوصیات گیاه دارویی پنیرک تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت 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 نانوذر مس در چهار سطح صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بودند. نتایج نشان داد که بین سطوح خشکی و نانوذر مس مورد بررسی از نظر کلیه صفات اختلاف معنی داری در سطح یک درصد وجود داشت. همچنین اثر متقابل تنش خشکی و نانوذر در صفات کارتنوئید، کاتالاز، بیوماس، عملکرد بوته و وزن هزار دانه معنی دار بود. نتایج نشان دهنده واکنش این گیاه به تنش خشکی بود. در بین سطوح مختلف نانوذر مس غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر دارای بیشترین میزان از نظر صفات مورد بررسی بود. در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذر 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 نانوذر کاهش کمتری داشتند. همچنین نتایج نشان داد که سطح ۱۰۰ میلی گرم در لیتر دارای کمترین میزان در صفات مورد بررسی بود و با ایجاد سمیت اثرات منفی بر گیاه داشت. بنابراین می توان با استفاده از نانوذر مس با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر اثر منفی تنش خشکی را کاهش داد.

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

### مقدمه

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، مورفولوژی، 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

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 بین بردن میکروارگانیسم‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک و نیز عامل شیمی درمانی (Razavi et al., 2011)،

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 در نهایت 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 کریوهدرات 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 (صابرته‌ها و همکاران، ۱۳۹۷)، افزایش کارتئوئید (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 Belozerovala, 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 (پرنودار 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 گل محمدی (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 (کریمان 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 jsspp.iut.ac.ir on 2025-05-17

کرده به طوری که کاملاً رطوبت آن از بین برود و سپس برگ‌ها پودر گردیده و جهت سنتز نانوذره مورد استفاده قرار گرفت. مقدار دو گرم از پودر حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۰ میلی لیتر آب دی‌یونیزه شده جوشانده شد و سپس عصاره توسط کاغذ واتمن صاف گردید عصاره استخراج شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد داخل یخچال قرار داده شد. مقدار ۲۰ میلی لیتر از محلول مس با ۱۰ میلی لیتر 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 به مدت ۱۵ دقیقه با دور rpm ۱۶۸۰۰ سانتریفیوژ شد و سپس مایه رویی را برداشته و دور ریخته و سه مرتبه با اضافه کردن آب یونیزه شد و سانتریفیوژ کردن آن را شستشو داده و در نهایت نانو مس تیره خاکستری بدست آمده به مدت یک شب در شرایط جریان هوایی به منظور خشک شدن قرار داده شد و در نهایت به مدت 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 مورد نظر در هاون چینی با ازت مایع پودر کرده سپس با ۴ میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد در تاریکی کاملاً هموژنیزه گردید. به منظور یکنواخت شدن محلول بدست آمده، لوله‌ها تکان داده شد و به مدت 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 طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ خوانده و میزان کلروفیل a، کلروفیل b و میزان کاروتنوئید به ترتیب 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، Ch1b و Car به ترتیب میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید و A میزان جذب توسط

کیفی خصوصیات آنها دارد. بنابراین با توجه اهمیت مطالب فوق این آزمایش به منظور 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 به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (هر سه گلدان به عنوان 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 میلی گرم در لیتر انجام گرفت. بذور مورد استفاده از گونه *Malva neglecta* از بانک ژن منابع مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد و بعد از ضدعفونی با قارچ‌کش، به منظور 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 سانتی متر انتقال داده شدند. به منظور اعمال تنش پس از محاسبه ظرفیت زراعی خاک (از طریق خاک خشک شده 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 به همراه آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید و تمامی گیاهان در مرحله رسیدگی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

در این تحقیق به منظور سنتز نانو مس از عصاره گیاه لاله واژگون استفاده شد. این گیاه به دلیل خاصیت اکسیدکنندگی قوی برای سنتز نانو مس مورد استفاده قرار گرفت. به منظور سنتز نانوذره از عصاره لاله واژگون ابتدا گیاه را چندین بار شستشو داده و در شرایط هوا خشک زیر نور آفتاب خشک

عصاره‌ها در طول موج‌های موردنظر براساس نانومتر هستند. به‌منظور تهیه ۲۰۰ میلی‌لیتر بافر استخراج، ابتدا ۲/۴۲۸ گرم تریس را با ۰/۲ گرم (Poly Vinyl Pyrrolidone) PVP در ۱۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر 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 به مدت 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 به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ rpm 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 طول موج 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 به مدت 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 طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده می‌گردد. سپس با توجه به مقادیر جذب نوری و غلظت‌های محلول ذخیره پروتئین منحنی استاندارد رسم گردید و محتوی پروتئین 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 رقیق شده (نسبت ۱:۴) با یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) مخلوط و با اضافه کردن 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 به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و پس از تشکیل رنگ سبز در نمونه‌ها از فاز بالایی محلول‌ها با دستگاه پلیت ریدر در طول موج 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، ۷۵ میلی‌مولار از پراکسید هیدروژن تهیه و طبق دستورالعمل تیتراژ 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

(Belozeroва and Shah, 2009). پرنودار 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 انجام شده 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 (پرنودار 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 پنیروک (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

میانگین آنها ارتفاع بوته بدست آمد. 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 غیرمعنی‌دار بودن 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 عدم تنش 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 به دلیل ایجاد سمیت مس در این غلظت کاهش و به کمترین مقدار خود رسید. نتیجه اثر تنش این مطالعه با یافته‌های احمدی‌آذر (۱۳۹۴) در گیاه پنیروک مطابقت داشت. گزارش شده نانوذرات باعث افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌گردند

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 <sup>ns</sup>	۰/۲۲ <sup>ns</sup>	۶۶۸/۱۱**	۰/۰۲**	۰/۰۱ <sup>ns</sup>
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

ns، \*\* به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی دار

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 <sup>ns</sup>	۰/۴۲ <sup>ns</sup>	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

ns، \*\* به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی دار

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

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

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

در گیاه بابونه به وسیله نانوذره آهن توسط آزاد و همکاران (۱۳۹۷) گزارش شد.

اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر میزان پروتئین: نتایج

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

ادامه جدول ۲-

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

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

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

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

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

یافت. به طوری که 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

حاصل از تجزیه واریانس بیانگر معنی دار بودن اثر تنش خشکی و نانوذره مس بر میزان پروتئین در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی دار بودن اثر متقابل آنها داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش تنش، میزان پروتئین کاهش

(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، به طوری که 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 (پرندهار 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

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 اسیدآمین 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 (کرمان 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. به طوری که بیشترین و کمترین این صفت به ترتیب 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 طول‌شدن ریشه جلوگیری می‌کند (فاجریا، ۱۳۹۰). تنش خشکی به دلیل اختلالی که در جذب مواد غذایی (فاجریا، ۱۳۹۰) و سیستم فتوسنتزی



اثرات متقابل تنش خشکی و نانو ذره مس بر صفت وزن هزار دانه نشان داد که تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر نانو ذره مس تأثیر منفی کمتری بر صفت وزن هزار دانه داشت و نتایج به شاهد نزدیک تر 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 نانو ذره که بهبود دهنده رشد گیاه باشد موجبات افزایش وزن هزار دانه را مهیا می کند. کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی و افزایش آن در مصرف نانو ذره توسط دیگران نیز گزارش شده است (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹؛ آقایی و همکاران، ۱۴۰۰).

**اثر تنش خشکی و نانو ذره مس بر بیوماس:** بررسی نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تنش خشکی و نانو ذره مس و اثر متقابل این دو تیمار روی بیوماس در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). تحلیل مقایسه میانگین اثرات متقابل بر صفت بیوماس نشان داد تنش خشکی باعث کاهش آن گردیده است اما مصرف نانو ذره تا غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر نانو ذره مس این اثر منفی را کاهش داد (جدول ۳). این نتیجه ناشی از تأثیر منفی تنش خشکی بر فعالیت فتوسنتزی گیاه است ولی نانو ذره مس موجب افزایش فعالیت های آنزیمی و رنگیزه کلروفیلی می شود و به سبب بهبود رشد اندام های مختلف گیاه، اثر منفی تنش خشکی را کاهش داده و افزایش بیوماس را در پی دارد. چنین نتیجه ای توسط احمدی آذر و همکاران (۱۳۹۴) و زارعی و همکاران (۱۳۹۹) نیز گزارش شده است اما مصرف نانو ذرات مس موجب کاهش زیست توده کدوی سبز (Stampoulis *et al.*, 2009) شد که اختلاف در نتایج این دو تحقیق ناشی از تفاوت در نوع و میزان مصرف نانو ذره مس است.

**اثر تنش خشکی و نانو ذره مس بر عملکرد بوته:** تجزیه و

#### منابع

تحلیل داده ها بیانگر معنی دار بودن اثر ساده تنش خشکی و نانو ذره 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 می گردد اما این کاهش در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره مس نسبت به دیگر غلظت های نانو ذره کمتر بود و مقدار عملکرد در سطح تنش خشکی ۷۵ درصد نسبت تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در تمام سطوح غلظت نانو ذره مس به شاهد (بدون تنش) نزدیک بود (جدول ۳). تنش خشکی به واسطه کاهش فعالیت فتوسنتزی، تعداد و سطح برگ و طول دوره رشد رویشی موجب کاهش عملکرد دانه می شود اما نانو ذره با بهبود این فعالیت ها عملکرد دانه را افزایش داده و اثر منفی تنش را خنثی می کند. نتایج مطالعه های مختلف (میرشکاری و همکاران، ۱۳۹۶) نشان داد تنش خشکی باعث کاهش عملکرد می گردد ولی مصرف نانو ذره موجب بهبود عملکرد می شود (فاضلی کاخکی و گلدانی، ۱۳۹۷؛ Salama *et al.*, 2021).

#### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان دهنده واکنش گیاه پنیروک به تنش خشکی بود هر چند با توجه به وحشی بودن گیاه میزان کاهش صفات در تنش خشکی نسبت به سایر گیاهان مشابه کمتر بود. تأثیر برخی غلظت های نانو ذره نیز در تنش به صورت مثبت ارزیابی گردید. به صورتی که با افزایش میزان غلظت نانو ذره مس تا ۵۰ میلی گرم در لیتر میزان صدمه در شرایط تنش نسبت به حالت بدون استفاده از نانو ذره کمتر بود. بنابراین می توان با به کارگیری نانو ذره مس تا غلظت معین اثر تنش خشکی بر گیاه پنیروک را کاهش داد و در شرایط خشک و نیمه خشک از این گیاه بهره لازم را بدست آورد.

احمدی آذر، ف.، حسنیو، ط.، ایمانی، ع. و فیضی اصل، و. (۱۳۹۴) تنش خشکی و کاربرد زئولیت معدنی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه (*Malva sylvestris*) پنیروک. مجله پژوهش های گیاهی ۲۸: ۴۷۴-۴۵۹.

- 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: ۲۲۳-۲۳۷.
- 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: ۳۳۱-۳۴۵.
- برزگر، ز.، قاسمیان، ع. ز.، رئیسی‌ساداتی، س. 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: ۴۹-۶۲.
- پرنودار، 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: ۴۳۹-۴۴۸.
- 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 سولفات و نانوذرات بر خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۳: ۷۰۷-۷۲۰.
- زارعی، ع.، سینکی، ج. م.، امینی‌دهقی، م. و علی‌دماوندی، ع. (۱۳۹۹) ارزیابی صفات بیوشیمیایی و زراعی ارقام کنگد 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 گل محمدی (*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.
- صابرته‌ها، 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 ویلامز تحت تنش شوری. فصلنامه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۲: ۲۶۸-۲۵۳.

- فتح‌اله پور 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: ۳۴۷-۳۵۸.
- 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: ۸۵-۹۸.
- کریمیان حسن‌آبادی، ز.، عیسوند، ح. ر.، دانشور، م. و اکبرپور، ا. ع. (۱۴۰۰) بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانوآکسید آهن بر صفات کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum L.*). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۳۷۵-۳۸۶.
- لطفی، م.، عباس‌زاده، ب. و میرزا، م. (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، پرولین، قندهای محلول و عملکرد ترخون (*Artemisia dracuncululus 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: ۲۱۹-۲۲۷.
- میرشکاری، م.، عینعلی، ع. و ولیزاده، ج. (۱۳۹۶) پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه جای 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<sub>2</sub> 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 delivery 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 Belozerovala, 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. *Analytical Biochemistry* 47: 389-394.

- 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.

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

Mohsen Nasiri<sup>1</sup>, Hooshmand Safari<sup>1</sup> and Hossein Pourhadian<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> Department of Medicinal Plants, Jihad University Institute of Higher Education, Kermanshah,

<sup>2</sup> 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