

واکنش مورفوفیز یولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی به نانوذرات نقره مهرداد باباریع^{۱*}، آتوسا دانیائی^۲

^۱گروه کشاورزی-مجتمع آموزش عالی میناب -دانشگاه هرمزگان
^۲دانشگاه ملی مهارت

چکیده

امروزه فناوری نانو باعث عرضه تعداد زیادی از محصولات نانو شده است که نانوذرات نقره یکی از رایج ترین نانو مواد می باشند. نانوذرات نقره به دلیل دارا بودن خواص فیزیکی و شیمیایی نسبت به دیگر انواع نانو ذرات فلزی بیشتر استفاده می شوند و دارای ویژگی های متمایز و کاربردهای گسترده ای، به ویژه در کشاورزی هستند که بر رشد و کیفیت گیاهان تأثیر می گذارند. در این پژوهش اثر غلظت های مختلف نانوذرات نقره بر برخی شاخص های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه شمعدانی بررسی گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با اعمال تیمار نانوذرات نقره در چهار غلظت (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم بر لیتر) انجام شد. نتایج نشان داد شاخص های مختلف رشد از جمله عرض برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، قطر گل، فعالیت آنزیم کاتالاز، زمان گلدهی و میزان آنتوسیانین گلبرگ، کلروفیل برگ و عناصر نیتروژن و پتاسیم به طور معنی داری تحت تاثیر نانوذرات نقره افزایش یافت. طوریکه بیشترین و بهترین میزان این شاخص ها در غلظت های ۲۰ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانوذرات نقره مشاهده شد. براساس نتایج این تحقیق، کاربرد نانوذرات نقره به عنوان محرک مناسب جهت بهبود شاخص های رشدی و صفات فیزیولوژیکی گیاهان پیشنهاد می شود.

واژه های کلیدی: رشد و نمو، شمعدانی، گیاهان زینتی، نانوذرات.

۱- مقدمه

فناوری نانو پیشرفته‌ترین و سریع‌ترین حوزه علم و فناوری می‌باشد که با درک و کنترل ماده در سطح نانو مقیاس، به توسعه نوآوری در نانومواد می‌پردازد [1]. ذراتی با اندازه‌ای بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر به عنوان نانوذرات طبقه‌بندی می‌شوند. این نانوذرات به علت اندازه کوچک و سطح تماس بیشتری که دارند، میزان چسبندگی آن‌ها به سطح سلولی افزایش می‌یابد که منجر به افزایش کارایی آن‌ها می‌شود [2, 3]. امروزه فناوری نانو باعث عرضه تعداد زیادی از محصولات نانو شده است که نانوذرات نقره یکی از رایج‌ترین نانو مواد می‌باشند [4]. نانو ذرات نقره به دلیل دارا بودن خواص فیزیکی و شیمیایی از جمله کاتالیزوری، مغناطیسی، پلاریزاسویون نوری و رسانایی الکتریکی نسبت به دیگر انواع نانو ذرات فلزی بیشتر استفاده می‌شوند. این نانوذرات دارای ویژگی‌های متمایز و کاربردهای گسترده‌ای، به ویژه در کشاورزی هستند [5] و به‌عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین نانومواد، دارای طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی می‌باشند که بر رشد و کیفیت گیاهان تأثیر می‌گذارند [6]. اخیراً استفاده از نانوذرات نقره در مزارع کشاورزی و باغبانی به دلیل سهم آن‌ها در بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاهان افزایش یافته است [7]. اثرات مثبت کاربرد نانوذرات نقره در افزایش عمر گلدانی در آلسترومیریای شاخه بریده [8]، و افزایش عمر پس از برداشت گل‌های لاله شاخه بریده [9] گزارش شده است. نتایج مطالعه‌ای

نشان داد تیمار گیاه سوسن با نانوذرات نقره باعث افزایش عملکرد سوخ شد و وزن تر و قطر سوخ را بهبود بخشید [10]. تیمار گل جعفری با نانو ذرات نقره باعث افزایش صفاتی مانند ارتفاع گیاه، قطر ساقه، قطر گل، تعداد گل در بوته و تعداد شاخه جانبی و همچنین وزن تر و خشک گل شد [11]. محققین گزارش کردند نانوذرات نقره فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی (پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) و همچنین ارتفاع گیاه، قطر برگ، وزن برگ تازه، وزن برگ خشک را در نیلوفر آبی افزایش دادند [12]. نتایج پژوهش دیگری نشان داد لاله‌های تیمار شده با نانو ذرات نقره زودتر گل دادند و دارای گل شاخه بریده بلندتر، گلبرگ‌های بزرگتر و قطر ساقه بیشتری بودند. علاوه بر این، کاربرد نانوذرات نقره باعث افزایش شاخص سبزیگی برگ (SPAD)، هدایت روزنه‌ای، وزن تر ریشه، طول ریشه و تولید سوخ‌های دختری با بیشترین وزن شد [7]. در گزارشی دیگر نیز افزایش تمام ویژگی‌های مورفولوژیکی به جز عمر گلجایی در گل‌های سوسن را با کاربرد نانوذرات نقره بیان شد [13]. شمعدانی با نام علمی (*Pelargonium hortorum*) گیاهی گلدار، چند ساله، علفی و همیشه سبز از خانواده Geraniaceae می‌باشد که بومی آفریقای جنوبی بوده و یکی از محبوب‌ترین گیاهان گلدانی است که در تمام مدت بهار، تابستان و مدتی از پاییز را گل می‌دهد [14]. گل‌های شمعدانی ممکن است کم‌پر یا پرپر باشند که نوع پرپر آن زیبایی

خاصی دارد شمعدانی به عنوان یک گیاه آپارتمانی و یا در فضای آزاد کشت می‌شود و به علت تنوع کم‌نظیر و دوره گلدهی طولانی از جمله گیاهان زینتی پر مصرف و پر طرفدار بوده که کشت و کار این گیاه در جهان سابقه طولانی دارد و در تجارت بین‌المللی رتبه دوم گیاهان باغچه‌ای را به خود اختصاص داده است [15].

باتوجه به اینکه بسیاری از تحقیقات گذشته، تأثیر مثبت نانوذرات نقره را بر رشد و نمو، عملکرد محصول و کیفیت گیاهان گزارش کرده‌اند، این پژوهش نیز در راستای پژوهش‌های پیشین و با هدف بررسی اثر نانو ذرات نقره بر صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر نانوذرات نقره بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه شمعدانی در سال ۱۴۰۳ در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد.

بذرهای گیاه زینتی شمعدانی معمولی (*Pelargonium hortorum* cv. Best Red) در سینی‌های کشت ۷۰ تایی کشت داده شدند. در ابتدای پاییز، دانه‌های حاصل در مرحله رشد ۴-۶ برگی و ارتفاع ۶-۸ سانتی‌متری به گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۲ سانتی‌متر انتقال یافتند. محیط کشت گیاهان شامل ترکیب کوکوپیت و پرلیت با نسبت حجمی ۱ به ۱ بود. دانه‌های کشت شده در گلدان‌ها در گلخانه و

دمای روز و شب به ترتیب 25 ± 3 و 18 ± 3 درجه سلسیوس قرار گرفتند. تغذیه گیاهان با استفاده از محلول غذایی هوگلند به فاصله هر ۴ روز یکبار تا پایان دوره آزمایش انجام شد. محلول‌پاشی نانو ذرات نقره، روی گیاه شمعدانی با فاصله ۱۰ روز و طی سه مرحله در غلظت‌های (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) انجام شد. از آب مقطر نیز به عنوان شاهد استفاده گردید.

صفات اندازه‌گیری شامل: وزن تر اندام هوایی، ارتفاع بوته، زمان گلدهی، تعداد ساقه گلدهنده، قطر گل، قطر ساقه، عرض و طول برگ، کلروفیل برگ (SPAD)، آنتوسیانین گلبرگ، فعالیت آنزیم کاتالاز و مقدار جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ گیاهان بود.

وزن تر اندام هوایی توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته، قطر ساقه و گل و همچنین طول و عرض برگ نیز با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ، از هر گلدان ۳ برگ به طور تصادفی انتخاب شد و کلروفیل یک قسمت از هر برگ با دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. سپس میانگین عددهای هر سه برگ به عنوان کلروفیل کل یادداشت گردید.

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین ۰/۱ گرم از بافت تر گلبرگ هر نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (شامل متانول و ۱ درصد اسید کلریدریک) ساییده شد و عصاره‌های به دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰

3 - نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره بر صفات (عرض پهنک برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، قطر گل و فعالیت آنزیم کاتالاز) در سطح یک درصد و بر صفات (زمان گلدهی، آنتوسیانین گلبرگ، کلروفیل کل و جذب عناصر نیتروژن و پتاسیم) در سطح پنج درصد معنی‌دار شد و بر سایر صفات نیز اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱ و ۲)

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نانو ذرات نقره بر صفات مورفولوژیکی گیاه شمعدانی

مناب	در	طو	عر	ار	قطر	تعدا	قطر
ع	جه	ل	ض	اع	ساق	د	گل
تغییر	آزا	بر	بر	بر	گیا	ه	ساقه
ات	دی	گ	گ	گ	ه	های	گلده
	ند						
تیما	۳	۳۴۷/	۶۹۴	۷۹۶	۰۲۸	۲۲۲/	۷۵۰
ر	۰ns	۰/	۰/	۰/	۰/	۰ns	۸/
خطا	۶	۱۵۰/	۰۹۶	۱۰۲	۰۰۳	۲۳۰/	۱
	۰	۰	۰/	۰/	۰/	۰	
ضریب	-	۱۰۵/	۶۴۳	۳۱۵	۹۵۱	۹۵۲/	۱۱۷
ب	۸	۵/	۴/	۶/	۲۷	۱۴/	
تغییر							
ات							
(در							
صد)							

دور سانتیفریور شدند. سپس فاز بالای عصاره‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای آزمایشگاه نگهداری شدند و بعد از ۲۴ ساعت جذب هریک از نمونه‌ها در طول موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. جهت محاسبه غلظت آنتوسیانین نیز از ضریب خاموشی ($\text{mM}^{-1}\text{CM}^{-1}$) استفاده شد [16].

سنجش فعالیت آنزیم CAT از طریق اندازه‌گیری تجزیه پراکسید هیدروژن توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد [17]. مخلوط واکنش شامل ۲۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار، ۴۰۰ میکرولیتر بافر پراکسید هیدروژن و ۴۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی بود. پس از بهم زدن مخلوط واکنش (با گذاشتن پارافیلیم بر روی کووت یک بار کووت سر و ته شد) سرعت واکنش آنزیمی به صورت تغییرات جذب بر زمان (OD/min) در طول موج ۲۴۰ نانومتر برای ۱ دقیقه ثبت شد. فعالیت آنزیمی با کمک فرمول بیر لامبرت و با ضریب خاموشی کاتالاز ۴۰-1c- $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ محاسبه و فعالیت آنزیم در نهایت بر مبنای اندازه‌گیری $\mu\text{Mol/gFW}\cdot\text{min}$ گردید.

اندازه‌گیری مقدار جذب عناصر در برگ گیاهان تیمارشده در آزمایشگاه آب و خاک محظری گرگان (ایران) انجام شد. جهت اندازه‌گیری میزان نیتروژن از روش کجلدال استفاده شد و برای تعیین میزان فسفر، از دستگاه اسپکتروفتومتر و برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم نیز از دستگاه فلیم فتومتر استفاده گردید [18].

میانگین‌های با حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌دار با همدیگر نیستند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانو ذرات نقره بر صفات فیزیولوژیکی و جذب عناصر در گیاه شمعدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	زمان گلدهی	آنتوسیانین گلبرگ	فعالیت کلروفیل	جذب نیتروژن	جذب فسفر	جذب پتاسیم
تیمار	۳	۱۷۹/۴۱۶**	۰/۰۴۶**	۰/۰۰۶*	۵۹/۴۴۳**	۰/۰۳۰**	۰/۰۳۴**
خطا	۶	۶/۲۵۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۸	۱/۲۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۱۸۰	۳/۶۰۲	۰/۰۰۰۸	۳۰۷	۱/۴۰	۱/۹۴۰

نداشت (جدول ۳).

میانگین‌های با حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌دار با همدیگر نیستند.

عرض برگ

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین عرض برگ مربوط به تیمار نانو ذرات ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد بود که با دیگر تیمارها از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

یون‌های نقره ممکن است با پروتئین‌ها، دستگاه سنتز نشاسته، متابولیسم و انتقال کربوهیدرات و فرآیندهای سلولی متعدد در گیاهان تعامل داشته باشند و از این طریق بر صفات رشدی گیاه تاثیر می‌گذارند [19].

پژوهشی مشخص گردید نانو ذرات نقره تعداد و طول برگ گیاه آرتیشو را افزایش دادند [20]. گزارش شد کاربرد نانو ذرات نقره باعث افزایش طول برگ در نرگس شد [21]. پژوهشگران افزایش افزایش قطر

برگ در گیاهان نیلوفر آبی تیمار شده با نانو ذرات نقره را گزارشیم کردند [12].

ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار نانو ذرات ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که با تیمار نانو ذرات ۳۰۷ میلی‌گرم بر لیتر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان ارتفاع مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمارهای نانو ذرات ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری

همانطور که نتایج مقایسه میانگین نشان داد کاربرد نانو ذرات نقره اثر محرک بر ارتفاع گیاه داشت. این اثر به این دلیل است که نانو ذرات نقره بیان ژن‌های دخیل در تکثیر سلولی و مسیرهای سیگنالیینگ هورمونی، به‌ویژه اکسین‌ها و جیبرلین را تنظیم می‌کنند [22]. محققین نیز معتقدند که نانو ذرات نقره می‌توانند فرآیندهای متابولیکی را که منجر به تحریک رشد گیاه می‌شود افزایش دهند [23].

پژوهشگران بیان کردند که نانو ذرات نقره با بهبود جذب عناصر غذایی ضروری، رشد گیاه را تقویت می‌کنند با توجه به اینکه در آزمایش ما کاربرد نانو ذرات جذب

لیتر

۷/۶۶۶a ۰/۷۵۳bc ۱۷b ۵/۳۳۳b ۳۰

میلی-
گرم در
لیتر

میانگین‌های با حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌دار با همدیگر نیستند.

قطر ساقه و گل

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان قطر ساقه مربوط به تیمار نانوذرات ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمار نانوذرات ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشترین میزان قطر گل مربوط به تیمار نانوذرات ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که با سایر تیمارها به جز شاهد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان قطر گل نیز مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳).

از آنجاییکه نانوذرات نقره بر چرخه تقسیم سلولی تاثیر می‌گذارند و همچنین به علت نقشی که بر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله اکسین دارند می‌توانند باعث بهبود صفات رشدی گیاه شوند [22]. از طرفی عنصر نیتروژن در افزایش تقسیم سلولی و رشد رویشی نقش دارد و چون با کاربرد نانوذرات نقره میزان نیتروژن در گیاهان شمع‌دانی افزایش پیدا کرد ممکن است یکی از دلایل افزایش قطر ساقه و گل به افزایش این عنصر

عناصر غذایی به ویژه عنصر نیتروژن را که در رشد رویشی و تقسیم سلولی نقش دارد، افزایش داد [24]. بنابراین افزایش ارتفاع شمع‌دانی در این آزمایش را با این موضوع می‌توان مرتبط دانست. پژوهش‌ها نشان داد بیشترین ارتفاع ساقه در زیره سبز با کاربرد نانوذرات نقره به دست آمد [25]. گزارش شد نانوذرات نقره به طور قابل توجهی ارتفاع گل داوودی را افزایش داد [26]. در پژوهشی، ارتفاع بوته گیاه زینتی *Duranta erecta* با کاربرد نانوذرات نقره افزایش یافت [27]. پژوهشگران افزایش طول ساقه در گیاه شنبلیله را با کاربرد نانوذرات نقره گزارش کردند [28].

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نانو ذرات نقره بر صفات مورفولوژیکی گیاه شمع‌دانی.

نانوذرات نقره	عرض برگ (سانتی-متر)	ارتفاع گیاه (سانتی-متر)	قطر ساقه (سانتی-متر)	قطر گل (سانتی-متر)
صفر میلی-گرم در لیتر	۵/۲۰۰b	۱۶/۹۳۳b	۰/۷۱۰c	۴/۶۶۶b
۱۰ میلی-گرم در لیتر	۵/۳۰۰b	۱۷/۷۶۶a	۰/۸۴۶ab	۷/۳۳۳a
۲۰ میلی-گرم در لیتر	۶/۲۳۳a	۱۷/۹۳۳a	۰/۹۲۶a	۸/۶۶۶a

پژوهشی کاربرد نانوذرات نقره باعث تحریک رشد و تسریع گلدهی در گیاهان سوسن شد [30].

فعالیت آنزیم کاتالاز

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تیمار نانوذرات ۲۰ میلی-گرم بر لیتر و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد بود که با دیگر تیمارها از لحاظ آماری اختلاف معنی-داری نداشت (جدول ۴).

کاتالاز از جمله مهمترین اجزای مکانیسم حفاظت کننده در گیاهان می‌باشد که در میتوکندری و پراکسی زوم وجود دارد [31]. این آنزیم نقش مهمی در پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد دارد [32]. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات نقره میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در خردل افزایش یافت [33]. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که تیمار نشاهای برنج با نانوذرات نقره باعث تحریک رشد و افزایش سطح آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز شد [34]. محققین دیگری نیز گزارش کردند که نانوذرات نقره می‌توانند میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را در ساقه‌ها و ریشه‌های گیاهان گوجه افزایش دهند [35]. اما در مقابل تاثیر منفی نانوذرات نقره را بر فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه باکوپا (*Bacopa monnieri*) گزارش شد [19]. که با نتایج آزمایش ما مغایرت دارد. یافته‌ها بیانگر این می-

باشد که نانوذرات نقره ممکن است بسته به ژنوتیپ‌های گیاهان اثرات متفاوتی داشته باشند. همچنین فعالیت

مربوط باشد. گزارش شد گل‌های لاله تیمار شده با نانوذرات نقره قطر ساقه بیشتری نسبت به شاهد داشتند [7]. که همسو با نتایج آزمایش ما می‌باشد. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان داد کاربرد نانوذرات نقره باعث افزایش ویژگی‌های مورفولوژیکی گل جعفری از جمله قطر گل شد [11].

زمان گلدهی

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین زمان تا ظهور گل مربوط به شاهد و نانوذرات ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین زمان مربوط به تیمار نانوذرات ۲۰ میلی-گرم بر لیتر بود (جدول ۴).

نانوذرات نقره می‌تواند فیتوهورمون‌هایی که در گلدهی نقش دارند را تنظیم کند و از این طریق بر گلدهی تاثیر بگذارند [29].

نتایج آزمایش ما نشان داد که میزان تاثیر نانوذرات نقره بر زمان گلدهی به میزان غلظت نانوذرات بستگی دارد و کاربرد ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات نقره باعث کوتاه شدن چرخه تولید گل و تسریع در گلدهی شد. در راستای نتایج ما نتایج یک پژوهش نشان داد که بیشترین زمان غنچه‌دهی در جعفری زینتی در شاهد و نانوذرات نقره در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین زمان گلدهی در غلظت‌های بالاتر نانوذرات نقره مشاهده شد [11]. محققین گزارش کردند کاربرد نانوذرات نقره گلدهی در گل نرگس را نسبت به شاهد به تاخیر انداخت [21]. که با نتایج آزمایش ما مغایرت دارد. در

قابل توجهی نسبت به شاهد داشت. با توجه به اینکه میزان آنتوسیانین با میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی رابطه مستقیم دارد و اینکه در آزمایش ما میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز) تحت تیمار نانوذرات نقره افزایش پیدا کرد پس انتظار می‌رود میزان آنتوسیانین نیز افزایش پیدا کند. از طرفی افزایش تجمع آنتوسیانین تحت تیمار نانوذره نقره می‌تواند ناشی از تنش اکسیداتیو القاشده توسط نانوذره نقره باشد [39]. در پژوهشی میزان آنتوسیانین در گیاه سیب زمینی تحت تیمار نانوذرات نقره نسبت به شاهد افزایش یافت [40]. محققین افزایش میزان آنتوسیانین در گیاه آراییدوپسیس را با کاربرد نانوذرات نقره گزارش کردند [41].

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نانو ذرات نقره بر صفات فیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی گیاه شمعدانی

آنزیم ممکن است بسته به غلظت، نوع نانوذرات و مدت زمانی که تحت تاثیر آن قرار می‌گیرد تغییر کند [36].

آنتوسیانین گلبرگ

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین و کمترین میزان آنتوسیانین گلبرگ به ترتیب مربوط به تیمار نانوذرات ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بود (جدول ۴).

آنتوسیانین‌ها مولکول‌های آنتی‌اکسیدان هستند که از گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند [37]. آنتوسیانین‌ها قادرند به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی با خنثی‌سازی انواع اکسیژن فعال از سلول‌ها در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت کنند، همچنین به عنوان کلات‌کننده فلزات سنگین نیز عمل می‌کنند [38]. نتایج تحقیق ما نشان داد محتوای آنتوسیانین تحت غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات نقره افزایش

نانوذرات نقره	زمان (تعداد روز از	گلدهی گلبرگ (میلی- گرم بر وزن تر (گلبرگ گلدهی)	آنتوسیانین	فعالیت کاتالاز (میکرومول بر گرم پروتئین)	آنزیم کلروفیل (SPAD)	جذب نیتروژن برگ (%)	جذب پتاسیم برگ (%)
صفر میلی گرم در لیتر	۱۱۶/۶۶۷a	۰/۸۶۸b	۰/۶۹۹b	۳۱/۰۰b	۰/۸۶۰b	۱/۸۸۰a	
۱۰ میلی گرم در لیتر	۱۱۴/۶۶۷a	۰/۸۹۲b	۰/۷۰۹b	۳۱/۸۶۶b	۱/۰۸۰a	۱/۹۲۰a	
۲۰ میلی گرم در لیتر	۹۹/۶۶۷c	۰/۹۹۲a	۰/۷۹۶a	۳۵/۴۳۳a	۱/۰۶۰a	۱/۷۴۰b	
۳۰ میلی گرم در لیتر	۱۰۷/۳۳۳b	۰/۶۹۲c	۰/۷۱۲b	۲۴/۷۳۳c	۱/۰۴۲a	۱/۷۰۲b	

میانگین‌های با حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌دار با همدیگر نیستند.

کلروفیل کل

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار نانوذرات ۲۰ میلی گرم بر لیتر و کمترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار نانوذرات ۳۰ میلی گرم بر لیتر بود (جدول ۴).

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی یکی از پارامترهای مهمی است که می‌تواند نشان‌دهنده میزان فتوسنتز و شرایط رشدی گیاه باشد. سبزی برگ که توسط SPAD ارزیابی می‌شود، یکی از معیارهای کیفی مهم در ارزیابی محصولات زینتی می‌باشد [42]. مقدار بالای SPAD ممکن است نشان‌دهنده افزایش میزان کلروفیل

برگ باشد [43]. گزارش‌های علمی نیز این فرضیات را تأیید می‌کنند. به عنوان مثال در پژوهشی مشخص شد که میزان کلروفیل به طور معنی‌داری در غلظت‌های پایین نانو ذرات نقره افزایش و در غلظت‌های بالاتر این تیمار کاهش داشته است [44]. محققین بیان کردند که نانوذرات می‌توانند در غلظت‌های کم سبب افزایش میزان کلروفیل و در غلظت‌های بالا موجب کاهش این رنگدانه شوند [45]. نتایج آزمایش ما مطابق با نتایج این محققین می‌باشد. نانوذرات نقره باعث افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌های *P. vulgaris* شد [24]. همچنین، تیمار نانوذرات نقره در گیاه ارزن مروریدی موجب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی شد [1]. کاربرد نانوذرات نقره موجب افزایش کلروفیل a، b و کل در

می‌شوند. نتایج بررسی این محققین نشان داد کاربرد نانوذرات نقره در گیاه لوبیا به طور قابل توجهی میزان عنصر نیتروژن را افزایش داد [24].

محققین افزایش میزان جذب نیتروژن و پتاسیم در برگ گیاه سوسن را با کاربرد نانوذرات نقره گزارش کردند [30]. در مطالعه دیگری غلظت پتاسیم در برگ گیاه زعفران با کاربرد نانوذرات نقره افزایش پیدا کرد [49].

۴. نتیجه گیری

نانوذرات، به علت خواص منحصر به فردشان، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند و باعث افزایش راندمان تکثیر و بهبود کیفیت گیاهان می‌شوند. نتایج آزمایش ما نیز نشان داد که اکثر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله عرض برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و گل، زمان گلدهی، میزان آنتوسیانین گلبرگ، میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان عناصر در گیاهانی که با نانوذرات نقره تیمار شده بودند، بهبود یافت که این نتایج نشان‌دهنده ارزش تزئینی و تجاری بیشتر نسبت به گیاهان تیمارنشده می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد نانوذرات نقره به عنوان محرک مناسب برای بهبود شاخص‌های رشدی و صفات فیزیولوژیکی گیاهان پیشنهاد می‌شود.

۵. منابع

[1] Khan, M., Novoselov, K.S., et al. Effects of silver nanoparticles on pearl millet growth, photosynthetic pigments,

zinc and iron content in leaves. [46]. بنابراین در گیاهان مختلف بسته به غلظت تیمار، پاسخ‌های متفاوتی مشاهده می‌شود.

جذب نیتروژن و فسفر

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان جذب نیتروژن در برگ‌ها مربوط به تیمار نانوذرات ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات نقره بود که با تیمارهای دیگر به جز شاهد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان نیتروژن نیز مربوط به شاهد بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان جذب پتاسیم در برگ‌ها مربوط به تیمار نانوذرات ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که با شاهد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان جذب پتاسیم در برگ نیز مربوط به تیمار نانوذرات ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

نتایج آزمایش ما نشان داد کاربرد نانوذرات نقره در کمترین غلظت، باعث افزایش بیشتر عنصر نیتروژن در گیاهان شمع‌دانی شد. در این راستا محققین دیگری گزارش کردند که غلظت کم نانوذرات نقره اعمال شده بر گیاهان گوجه‌فرنگی میزان عنصر نیتروژن و پتاسیم را در برگ‌ها افزایش داد [47]. برخی پژوهشگران معتقدند نانو مواد در به حداقل رساندن اتلاف عناصر غذایی و بهینه‌سازی آن‌ها تاثیرگذار هستند [48].

محققین دیگری نیز بیان کردند که نانو ذرات نقره باعث بهبود تجمع و جذب عناصر غذایی ضروری در گیاه



- [11] Behzad, K., et al. Effects of silver nanoparticles on morphological traits of marigold plants. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54(2), 205–215 (2024).
- [12] Hoang Vu, N., et al. Silver nanoparticles increase antioxidant enzymes in lotus. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1075–1088 (2021).
- [13] Alkac, G., et al. Morphological responses of lily flowers to silver nanoparticle treatments. *Floriculture Research Journal*, 15(3), 112–118 (2022).
- [14] Hosseini, H., Kermani, M., Bayati, S. N., Bayati, S. First report of Pelargonium flower break virus (PFBV) on Pelargonium spp. from Iran and determination of some molecular characteristics. *Journal of Ornamental Plants*, 6(2), 85-94 (2016).
- [15] Ghasemi Ghahsareh, M., Kafi, M. *Scientific and Practical Floriculture*, Vol. 1 (in Persian). 2nd ed. Razavi Publishing, Tehran, Iran, 636 p. (2012).
- [16] Wagner, G. J. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64, 88-93 (1979).
- [17] Clairborne, A. Catalase activity. In *CRC Handbook of Methods for Oxygen Radical Research*. Ed. R. A. Greenwald. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 283-284 (1985).
- [18] Olsen, S. R., Sommers, L. E. Phosphorus. In *Methods of Soil and antioxidant enzymes*. *Journal of Plant Physiology*, 292, 153758 (2023).
- [2] Zhao, L., et al. Silver nanoparticle exposure promotes oxidative stress and DNA damage in wheat. *Environmental Science & Technology*, 53(10), 6065-6073 (2019).
- [3] Li, X., et al. Impact of silver nanoparticles on Arabidopsis thaliana growth and metabolite profiles. *Ecotoxicology*, 27(9), 1201-1213 (2018).
- [4] Oukarroum, A., et al. Inhibitory effects of silver nanoparticles on photosystem II and oxidative stress in Lemna gibba. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(7), 1680-1688 (2012).
- [5] Iqbal, M., et al. Toxicity of silver nanoparticles to plants – mechanisms and phytotoxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(1), 198–204 (2017).
- [6] Byczynska, A., et al. Influence of silver nanoparticles on ornamentals postharvest life. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 96, 73–83 (2023).
- [7] Byczynska, A. Silver nanoparticles prolong vase life of cut tulips. *HortScience*, 52(8), 1114–1121 (2017a).
- [8] Langroudi, M., et al. Silver nanoparticles improve vase life in Alstroemeria cut flowers. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 71–77 (2020).
- [9] Byczynska, A. Postharvest quality in tulips treated with silver nanoparticles. *HortScience*, 52(8), 1114–1121 (2017b).
- [10] Zawadzinska, A., et al. Impacts of silver nanoparticles on lily bulb yield and postharvest quality. *Scientia Horticulturae*, 271, 109482 (2021).

- morphology. *Urban Horticulture*, 12(1), 45–52 (2023).
- [28] Jasmin, M., et al. Fenugreek stem elongation under nanosilver application. *Indian Journal of Plant Physiology*, 22(4), 563–570 (2017).
- [29] Chen, X., Schluesener, H. J. Nanosilver: A nanoparticle in medical application. *Toxicology Letters*, 176(1), 1-12 (2008).
- [30] Salachna, P., et al. Silver nanoparticles influence nutrient absorption in lilies. *Scientia Horticulturae*, 250, 146–153 (2019).
- [31] Gupta, S., et al. Catalase in plant oxidative stress response. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(6), 561–566 (2009).
- [32] Bowler, C., et al. Antioxidant defence mechanisms in plants. *Trends in Plant Science*, 7(1), 12–19 (1992).
- [33] Sharma, P., et al. Silver nanoparticle effects on antioxidant enzymes in mustard. *Plant Physiology and Biochemistry*, 50, 200–206 (2012).
- [34] Gupta, S., et al. Enhancement of catalase and APX enzymes in rice under nanosilver. *Plant Physiology Reports*, 18(2), 144–153 (2018).
- [35] Mehrian, S., Karami, M. Catalase activity in tomato under silver nanoparticles treatment. *Plant Physiology Reports*, 20(3), 183–192 (2015).
- [36] Movafeghi, A., et al. Catalase activity changes in plants exposed to nanosilver. *Environmental and Experimental Botany*, 143, 141–148 (2017).
- [37] Solfanelli, C., et al. Anthocyanins in plant stress responses. *Plant Cell*, 18(5), 1144–1156 (2006).
- Analysis, Part 2. Eds. A. L. Page, R. H. Miller, D. R. Keeney. 2nd ed. *Agronomy Monograph No. 9*, ASA and SSSA, Madison, WI, USA, pp. 403-430 (1982).
- [19] Krishnaraj, C., et al. Silver nanoparticle phytotoxic effects in *Bacopa monnieri*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 88(2), 406–415 (2012).
- [20] Shahraki, A., et al. Leaf morphology changes in globe artichoke under silver nanoparticles. *Scientia Horticulturae*, 277, 109830 (2021).
- [21] Wojdyła, T., et al. Changes in leaf traits of *Narcissus* under nanosilver treatment. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 24(5), 79–90 (2025).
- [22] Syu, Y., et al. Regulation of auxin pathways by silver nanoparticles in plants. *Plant Physiology*, 165(4), 1184–1198 (2014).
- [23] Feregrino, E., et al. Silver nanoparticles as elicitors of plant growth. *Plant Growth Regulation*, 92, 419–431 (2018).
- [24] Das, P., et al. Silver nanoparticles stimulate nutrient uptake and growth in *Phaseolus vulgaris*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 30284–30299 (2018).
- [25] Ekhtiari, M., Maraghabadi, R. Effect of silver nanoparticles on stem height of cumin. *Journal of Medicinal Plants*, 20(78), 134–142 (2021).
- [26] Tung, T., et al. Chrysanthemum height enhancement by silver nanoparticles. *Plant Ornamentals Research*, 17(4), 213–220 (2018).
- [27] Aly, M., et al. Influence of nanosilver on *Duranta erecta*



[49] Karimi Jafari, S., Hosseinzadeh Namil, S. Effect of silver nanoparticles on potassium content in saffron leaves. *Journal of Saffron Research*, 8(3), 211–219 (2020).

- [38] Caroch, M., Ferreira, I. Anthocyanins as antioxidants in plants. *Food & Function*, 4(7), 903–918 (2013).
- [39] Zare, S., et al. Anthocyanin changes in purslane under silver nanoparticles. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11(42), 1501–1509 (2022).
- [40] Homae, M., et al. Anthocyanin content changes in potato under silver nanoparticles. *Scientia Horticulturae*, 181, 141–146 (2015).
- [41] Qian, H., et al. Silver nanoparticles induce anthocyanin accumulation in *Arabidopsis*. *Environmental Science & Technology*, 47(2), 813–819 (2013).
- [42] Zawadzinska, A., Salachna, P. Effects of silver nanoparticles on chlorophyll content in ornamentals. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 17(3), 85–96 (2018).
- [43] Dunn, B., et al. SPAD meter readings as indicators of plant chlorophyll and quality. *HortScience*, 53(12), 1744–1750 (2018).
- [44] Ehsanpour, A.A., et al. Chlorophyll changes under nanosilver in plants. *Plant Biological Sciences*, 14(2), 177–184 (2015).
- [45] Ghorbanli, M., Kiapour, S. Chlorophyll content variations in plants exposed to nanosilver. *Photosynthetica*, 50(1), 118–124 (2012).
- [46] Pourbeyrami Hir, H., et al. Effect of silver nanoparticles on chlorophyll in marsh iris. *Aquatic Botany*, 174, 103416 (2021).
- [47] Guzman-Baez, A., et al. Silver nanoparticle foliar application improves tomato nutrient uptake. *Scientia Horticulturae*, 275, 109670 (2021).
- [48] Elsakhawy, T., et al. Nanomaterials optimize nutrient management in crops. *Agricultural Nanotechnology*, 4(2), 102–112 (2018).



Morphophysiological and biochemical response of geranium plant to silver nanoparticles

Mehrdad Babarabie^{1*}, Atoosa Danyaei²

1. Agriculture Department-Minab Higher Education Complex-University of Hormozgan

2. National University of Skills

Abstract

Today, nanotechnology has led to the introduction of a large number of nano products, of which silver nanoparticles are one of the most common nanomaterials. Silver nanoparticles are more widely used than other types of metal nanoparticles due to their physical and chemical properties and have distinctive features and wide applications, especially in agriculture, which affect the growth and quality of plants. In this study, the effect of different concentrations of silver nanoparticles on some physiological and morphological indicators of geranium plant was investigated. The experiment was conducted in a completely randomized block design with 3 replications by applying silver nanoparticles treatment at four concentrations (zero, 10, 20 and 30 mg/L). The results showed that various growth indices including leaf blade width, plant height, stem diameter, flower diameter, catalase enzyme activity, flowering time, and petal anthocyanin content, leaf chlorophyll, and nitrogen and potassium elements increased significantly under the influence of silver nanoparticles. The highest and best levels of these indices were observed at concentrations of 20 and 10 mg/L of silver nanoparticles. Based on the results of this study, the use of silver nanoparticles as a suitable stimulus for improving growth indices and physiological traits of plants is suggested.

Keyword: Geranium, growth and development, nanoparticles, ornamental plants.