

پاسخ‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) در استفاده از نانوکود کلات کامل

عسکر غنی*، سعیده محتشمی و سلما جمالیان

استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران

* نویسنده مسئول: askar.ghani11@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰)

چکیده

استفاده نادرست از کودهای شیمیایی اثرات مخرب و غیرقابل برگشتی به ساختار و تعادل عناصر غذایی خاک وارد کرده است. به همین منظور، امروزه کاربرد کودهای نانو در جهت حفظ اکوسیستم کشاورزی توصیه می‌شود. در پژوهش حاضر، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و پنج تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. فاکتور اول، غلظت‌های مختلف نانوکود در پنج سطح (صفر، یک، دو، سه و چهار گرم در لیتر) و فاکتور دوم شامل دفعات محلول‌پاشی در دو سطح (هفت و ۱۴ روز یک‌بار) بود. نتایج به دست آمده نشان داد که در دفعات محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار یا ۱۴ روز یک‌بار، غلظت دو گرم در لیتر نانوکود منجر به افزایش ارتفاع بوته (۳۰/۳۰ و ۲۹/۱۰ سانتی‌متر) گردید. عملکرد ماده خشک (۳/۸۶ گرم در بوته) و مقدار فلاون و فلاونول (۴/۱۸ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) را می‌توان با استفاده از غلظت سه گرم در لیتر نانوکود و با دفعات محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار افزایش داد. در محلول‌پاشی ۱۴ روز یک‌بار، کاربرد غلظت‌های یک و چهار گرم در لیتر نانوکود منجر به افزایش مقدار کلروفیل کل شد. در ارتباط با فعالیت آنتی‌اکسیدانی، در غلظت‌های بالاتر از یک گرم در لیتر نانوکود افزایش نشان داده شد (۶۴/۲۹ تا ۸۰/۲۱ درصد). غلظت‌های سه و دو گرم در لیتر نانوکود، به ترتیب با کاربرد هفت روز و ۱۴ روز یک‌بار بیشترین مقدار ترکیبات فنولی کل را نتیجه داد. به طور کلی، نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت نانوکود کلات کامل بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مرزه تابستانه بود.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات فنولی کل، عملکرد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدها، مرزه تابستانه.

مقدمه

معدده، مدر، بادشکن، رفع اسهال و ضد کرم می‌باشد. اسانس این گیاه به دلیل خاصیت بالای آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی، کاربرد زیادی در صنایع غذایی و دارویی دارد (Hadian et al., 2018; Mohtashami et al., 2018). در منابع مختلف این گیاه را با نام‌های مرزه، مرزه یک‌ساله، مرزه باغی، مرزه تابستانه و مرزه زراعی می‌شناسند (Mozaffarian, 2017) و در بیشتر مناطق

مرزه تابستانه با نام علمی *Satureja hortensis* L. گیاهی است از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) که در ایران به صورت وسیع مورد کشت قرار می‌گردد و به صورت سبزی تازه، سبزی خشک، ادویه و یا به عنوان یک گیاه دارویی استفاده می‌شود. مهمترین خواص دارویی که به این گیاه نسبت داده می‌شود شامل تسهیل‌کننده عمل هضم، مقوی

(L. به میزان ۳۴ درصد نسبت به شاهد شد. این میزان از نانو اکسید روی، رشد رویشی و نمو این گیاه را نیز تقویت نمود (Mazumdar et al., 2020). نانوکود روی، به صورت کلات در بالاترین سطح مورد استفاده (۲۰۰ میلی گرم بر لیتر)، افزایش ارتفاع بوته، وزن تر و خشک برگ، مقدار فسفر برگ، تعداد برگ به ازای هر گیاه، مقدار کلروفیل و مقدار اسانس در گیاه مرزه را سبب شد (Vafa et al., 2015). طی گزارش Peyvandi و همکاران (۲۰۱۱)، کاربرد نانوکود کلات آهن طول ریشه و طول ساقه گیاه ریحان را کاهش داد و موجب افزایش کلروفیل a و کلروفیل b شد (Peyvadi et al., 2011). کاربرد نانوکود پوشینه دار فسفر، منجر به افزایش ۱۲ تا ۲۰ درصدی عملکرد محصول در برخی از سبزی‌های برگی شده است (Parks et al., 2012). طی تحقیقی روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) (L.، اثر نانوکود اکسید روی، مورد بررسی قرار گرفت و افزایش رشد رویشی و بهبود عملکرد آن تأیید شد (El-Kereti et al., 2013). اثر محلول پاشی برگی ذرات نانو مس، روی برخی از صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی و ترکیبات اسانس در گیاه نعناع فلفلی (*Mentha×piperita*) مورد بررسی قرار گرفت و افزایش مقدار کلروفیل و اسانس پس از کاربرد نانوکود مس در غلظت یک گرم بر لیتر گزارش شد. همچنین این نوع کود باعث افزایش مقدار منتول، منتون و منتوفوران، به ترتیب به میزان ۱۵، ۲۵ و ۶۵ درصد بیشتر از شاهد شد (Nemati Lafmejani et al., 2018). در مطالعه دیگری گزارش شد که کاربرد نانوکود به صورت مکمل برای گیاه نعناع فلفلی، موجب افزایش مقدار اسانس، جذب و ارسال بیشتر نیتروژن و فسفر در گیاه، تولید بیشتر منتول و افزایش عملکرد می‌شود (Ostadi et al., 2020). با کاربرد کودهای نانو،

به صورت گیاهی یک‌ساله در فصل بهار کشت می‌گردد.

بی‌توجهی کشاورزان به اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید محصول، می‌تواند منجر به وقوع صدمات جبران‌ناپذیری به ساختار خاک و تعادل عناصر معدنی در آن، افت جمعیت میکروبی و کاهش حاصلخیزی خاک شود و به این ترتیب با تخریب زنجیره‌های غذایی در اکوسیستم، جهش‌های نامطلوب و ماندگار در نسل‌های آینده مصرف‌کنندگان را تقویت کند (Albanese et al., 2012). استفاده از کودهای نانوسنتزی به منظور کاهش آلودگی و اثر نامطلوب مواد باقیمانده، توسط متخصصان محیط‌زیست و در جهت حفظ اکوسیستم‌های کشاورزی بسیار توصیه می‌شود (Haverkamp & Marshal, 2019). در این میان فناوری نانو با به‌کارگیری موادی در اندازه‌های بسیار کوچک (یک تا ۱۰۰ نانومتر)، ویژگی‌های منحصر به فرد، آن‌ها را آشکار می‌کند. سطح تماس بیشتر ذرات نانو، فرصت برهمکنش مؤثر را به مکان هدف بهتر فراهم می‌کند. نانوکودها پتانسیل تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه را به همراه افزایش عملکرد محصول دارا هستند (Adisa et al., 2019). انواع مختلفی از کود گزارش شده‌اند که با ابزار مکانیکی یا با استفاده از روش‌های شیمیایی ویژه به اندازه‌های کوچکی تبدیل شده‌اند و به این ترتیب جذب عناصر غذایی از آن‌ها افزایش یافته و سمیت عناصر در گیاه اتفاق نخواهد افتاد (Wan et al., 2010). شواهد زیادی مبنی بر کاربرد نانوکودها در جهت بهبود تولید محصولات مختلف وجود دارد. نانوکود روی، به شکل اکسید و در غلظت ۲۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر، منجر به افزایش مقدار کلروفیل در گیاه خردل چینی (*Brassica juncea*)

به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و پنج تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل، غلظت‌های مختلف نانوکود (مایع) در پنج سطح (صفر، یک، دو، سه و چهار گرم در لیتر) بود. فاکتور دوم شامل: دفعات محلول‌پاشی در دو سطح (هفت روز یک‌بار و ۱۴ روز یک‌بار) بود. در تیمار غلظت صفر، محلول‌پاشی توسط آب معمولی در تیمارهای هفت روز و ۱۴ روز صورت پذیرفت که به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که بین شاهد در تیمارهای هفت روز و ۱۴ روز تفاوت جزئی وجود دارد (در شاهد گروه اول هفت روز یک‌بار و در شاهد گروه دوم ۱۴ روز یک‌بار محلول‌پاشی توسط آب معمولی انجام شد). محلول‌پاشی به‌صورت منظم در عصرها به اندازه‌ای که تمام سطح گیاهان کاملاً خیس شوند انجام شد. در طی دوره تیماردهی گیاهان که حدود ۴۵ روز طول کشید برای گروه محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار، شش مرتبه و برای گروه محلول‌پاشی ۱۴ روزه، سه مرتبه محلول‌پاشی انجام شد. بذر مرزه استفاده شده در این تحقیق، توده محلی جهرم بود که ابتدا داخل خزانه کشت گردید و در مرحله چهار تا شش برگی به گلدان‌های پنج کیلوگرمی (گلدان‌ها با ارتفاع ۲۰ و قطر دهانه ۲۲ سانتی‌متر) انتقال و درون هر گلدان چهار بوته کشت گردید. بعد از گذشت دو هفته و اطمینان از رشد مجدد نشاها (تعداد بسیار محدودی از بوته‌ها نیاز به واکاری داشتند)، اعمال تیمارها صورت گرفت. جهت تهیه خاک گلدان‌ها از ماسه بادی (دو واحد)، خاک باغچه (یک واحد) و کود دامی گوسفندی پوسیده (یک واحد) استفاده شد و اجزای مختلف خاک به‌صورت کامل با هم مخلوط شدند و قبل از پر کردن گلدان‌ها، جهت تعیین ویژگی‌های کمی و کیفی خاک مورد استفاده نمونه‌برداری انجام شد که نتیجه آنالیز خاک در جدول ۱ آورده شده است.

شرایط برای مدیریت آلودگی هوا بهتر فراهم می‌شود. دلیل این امر، جذب سریع‌تر عناصر به‌صورت نانو توسط گیاه است. به این ترتیب تجمع و مسمومیت عناصر در لایه‌های خاک کاهش پیدا می‌کند و به‌دنبال آن افزایش ارتفاع، توسعه بهتر ریشه و افزایش تعداد ریشه، افزایش مقدار کلروفیل برگ و محتوی آنتی‌اکسیدانی میوه مشاهده می‌شود. برای مثال یون‌های آمونیوم در مقادیر بالا، با ترکیبات قلیایی موجود در آب باران واکنش داده و تولید گاز مسموم آمونیاک می‌کنند (Haverkamp & Marshall, 2019). این کودها سطح تماس و ظرفیت جذب بالایی دارند و در محل‌های مورد هدف به‌صورت کنترل شده رها می‌شوند. از سوی دیگر مزیت تغذیه برگی این است که به‌لحاظ دسترسی سریع به عناصر غذایی برای رشد شاخساره‌ها و برگ‌ها بسیار اثربخش است. در اوایل بهار، زمانی که کاهش در دمای خاک وجود دارد، ریشه‌ها در جذب عناصر غذایی از جمله بور و روی با مشکل مواجه می‌شوند (Vafa et al., 2015).

بنابراین با توجه به اهمیت گیاه مرزه تابستانه به‌دلیل کاربرد وسیع به‌عنوان سبزی (تازه و خشک) و استفاده در صنایع غذایی و دارویی و از طرف دیگر اثربخش بودن کودهای نانو در بهبود رشد رویشی، رشد زایشی، عملکرد و شاخص‌های مربوط به مواد مؤثره، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد نانوکود کلات کامل بر برخی صفات فیزیولوژیکی و متابولیسی گیاه مرزه تابستانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل، روش و نوع طرح آزمایشی

پژوهش حاضر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جهرم (گلخانه دارای پوشش پلاستیکی با موقعیت ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض جغرافیایی، ۱۰۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا) انجام شد. جهت اجرای این پژوهش، یک آزمایش گلدانی

نانوکود کلات کامل (سوپر میکرو) به کار برده شده در این تحقیق شامل ۱۱ عنصر اساسی مورد نیاز گیاه به صورت یون‌های قابل جذب می‌باشد که در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی، شیمیایی و عناصر غذایی موجود در خاک مورد استفاده

آهن (میلی گرم در کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)	نیتروژن (میلی گرم در کیلوگرم)	رطوبت خاک (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته pH
۱/۸۰	۱/۷۵	۵۷۸	۱۰/۶۰	۱۸۰۰	۳۸	۳/۸۱	۷/۳۳
شنی لومی	مواد خنثی شونده (درصد)	رس (درصد)	لای (درصد)	شن (درصد)	منگنز (میلی گرم در کیلوگرم)	مس (میلی گرم در کیلوگرم)	روی (میلی گرم در کیلوگرم)
۵۷/۵۰	۱۲/۱۶	۱۶/۴۰	۷۱/۴۴	۵/۴۰	۰/۶۰	۱/۴۴	

جدول ۲- میزان عناصر غذایی موجود در نانوکود استفاده شده

نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	کلسیم (درصد)	منگنز (درصد)	آهن (درصد)
۵/۰	۴/۰	۲/۰	۱/۵	۲/۰	۴/۰
روی (درصد)	منیزیم (درصد)	مس (درصد)	بر (درصد)	مولیبدن (درصد)	نوع کود
۵	۱	۱	۰/۰۶	۰/۰۴	مایع

صفات اندازه‌گیری شده

مهمترین شاخص‌های رشد و عملکرد شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، عملکرد ماده خشک (زیست‌توده)، وزن خشک ریشه در ابتدای مرحله گلدهی (مرحله حداکثر رشد گیاه و ظهور اولین گل) اندازه‌گیری شد. هر تیمار شامل پنج تکرار (پنج گلدان) و در هر گلدان چهار بوته قرار داشت که هر بوته به‌عنوان یک قرائت در نظر گرفته شد. ارتفاع بوته توسط خط‌کش و فاکتورهای مربوط به وزن توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم (A & D company FX-300GD)، ساخت کشور ژاپن) انجام شد. خشک کردن اندام گیاه به‌منظور محاسبه عملکرد ماده خشک در دمای آزمایشگاه (28±2) درجه سانتی‌گراد و به دور از نور به مدت ۱۲۰ ساعت انجام شد. جهت محاسبه وزن خشک نمونه‌های ریشه، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون

آزمایشگاهی (شرکت رایمند زیست‌فناور- ساخت ایران) قرار گرفتند. محتوی کلروفیل (کلروفیل a, b و کل) و میزان کاروتنوئید نمونه‌های برگ به صورت تازه به‌منظور تأثیر تیمارها بر این صفات اندازه‌گیری شد. همچنین برخی از صفات بیوشیمیایی عصاره برگ گیاه مرزه تحت تأثیر تیمارهای کود نانو شامل میزان فلاون و فلاونول، فلاونوئید کل، ترکیبات فنولی کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس روش طیف‌سنجی نوری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (JENUS V-1100- ساخت کشور چین) مورد ارزیابی قرار گرفت.

عصاره‌گیری و اندازه‌گیری خصوصیات بیوشیمیایی

عصاره‌گیری از نمونه‌های برگ خشک شده، توسط حلال متانولی به نسبت ۵:۱ (حجمی- وزنی، ۲۵ میلی‌لیتر حلال به پنج گرم نمونه برگ) با استفاده

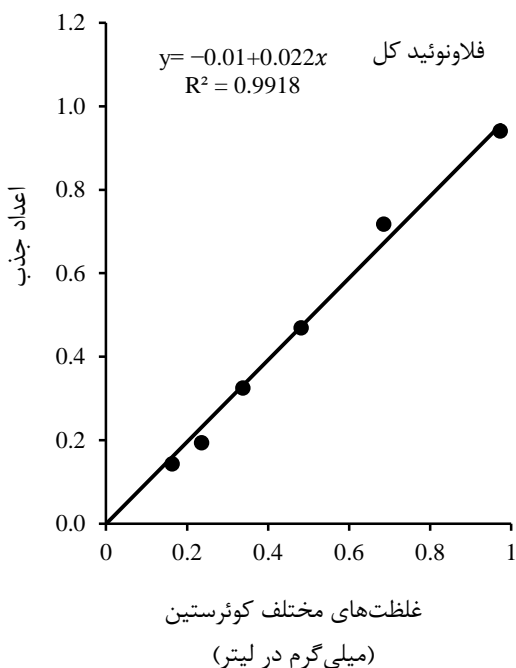
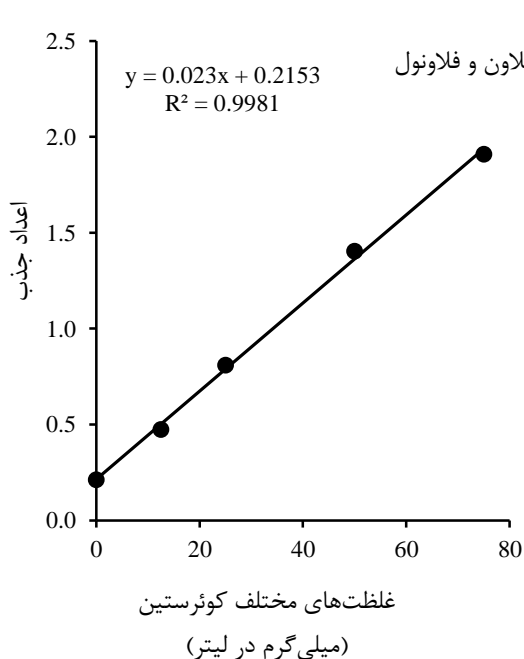
(Wojdylo *et al.*, 2007). اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها بر اساس آزمون DPPH با اضافه کردن ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره به پنج میلی‌لیتر محلول DPPH (۰/۰۰۴ درصد) با استفاده از روش Oke و همکاران (۲۰۰۹) با تغییرات جزئی انجام شد.

اندازه‌گیری محتوی کلروفیل بر اساس روش Dere و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از حلال متانول و قرائت میزان جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر انجام شد.

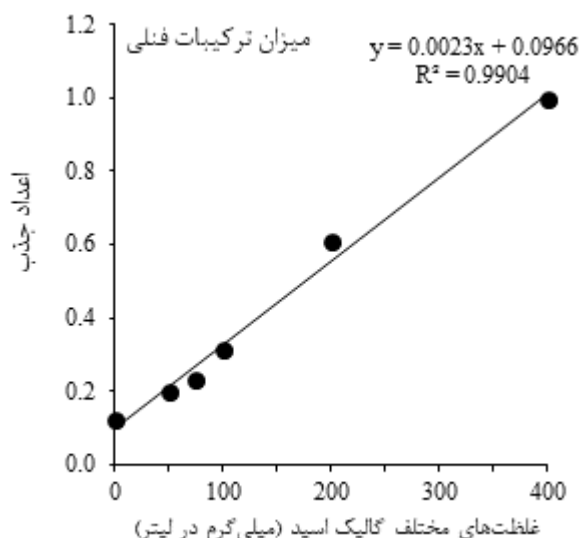
آنالیز آماری

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۹ انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

از حلال متانول ۷۰ درصد به روش خیساندن در حلال انجام شد (Wojdylo *et al.*, 2007). میزان فلاون و فلاونول به روش Popova و همکاران (۲۰۰۴) با اندکی تغییر اندازه‌گیری شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم اکی‌والانت کوئرستین در گرم وزن خشک بیان شد (شکل ۱). اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل با استفاده از معرف کلرید آلومینیوم انجام شد. تبدیل داده‌های حاصل از جذب به غلظت‌های مختلف کوئرستین با رسم منحنی استاندارد کوئرستین انجام شد و نتایج بر اساس میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن خشک (شکل ۱) بیان شد (Menichini *et al.*, 2009). ترکیبات فنولی کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتتو در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت‌های مختلف گالیک اسید به‌عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت و داده‌ها به‌صورت میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک (شکل ۲) بیان شد



شکل ۱- منحنی استاندارد جهت تعیین میزان فلاون و فلاونول و فلاونوئید کل



شکل ۲- منحنی استاندارد جهت تعیین ترکیبات فنولی

شد و افزایش غلظت باعث کاهش عملکرد ماده خشک گردید (جدول ۳).

اثر ساده نانوکود روی تعداد ساقه جانبی نشان داد که کاربرد کود در تمامی غلظت‌ها باعث افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی نسبت به شاهد شد. بیشترین افزایش مربوط به غلظت دو گرم در لیتر و به میزان ۳۲/۰۴ درصد نسبت به شاهد بود. اثر دفعات محلول‌پاشی نانوکود روی گیاه مرزه مشخص کرد که کاربرد ۱۴ روز یک‌بار نانوکود به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش تعداد شاخه جانبی شد (جدول ۴).

نتایج مشابهی توسط محققان متعددی در ارتباط با افزایش شاخص‌های رویشی گیاه با کاربرد نانوکودها به‌دست آمده است. افزایش ارتفاع گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) به‌میزان ۷/۰۳ درصد پس از کاربرد نانوکود KH_2PO_4 قابل مشاهده بود. به‌طور کلی برخلاف انتظار، فسفری که از طریق کود معمول KH_2PO_4 تأمین شده بود نسبت به همان نوع کود اما به شکل نانو، میزان جذب فسفر بالاتری را نشان داد (Miranda-Villgomez et al., 2019). نتایج آزمایش دیگری بر روی گوجه‌فرنگی

نتایج و بحث

شاخص‌های عملکرد

بالاترین ارتفاع بوته (۳۰/۳۰ و ۲۹/۱۰ سانتی‌متر) به‌ترتیب مربوط به غلظت دو گرم در لیتر در دفعات محلول‌پاشی هفت روز و ۱۴ روز یک‌بار بود در حالی‌که کمترین میزان (۲۰/۸۰ و ۲۱/۱۰ سانتی‌متر) به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب معمولی) با دفعات ۱۴ روز و محلول‌پاشی با غلظت چهار گرم در لیتر هر هفت روز یک‌بار می‌باشد. در غلظت‌های یک و دو گرم در لیتر، بین دفعات محلول‌پاشی هفت و ۱۴ روز اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود ندارد (جدول ۳). در بین غلظت‌های به‌کار برده شده نانوکود با دفعات محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار، کمترین مقدار عملکرد ماده خشک مربوط به غلظت یک گرم در لیتر بود که اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. غلظت چهار گرم در لیتر نانوکود منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد ماده خشک نسبت به کاربرد غلظت دو و سه گرم در لیتر شد. در دفعات محلول‌پاشی ۱۴ روز، با افزایش غلظت کود تا غلظت دو گرم در لیتر افزایش عملکرد ماده خشک مشاهده

رویشی از جمله افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ‌ها به ازای هر گیاه و بهبود عملکرد گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) پس از کاربرد نانو کود کامل در تمامی غلظت‌های مورد استفاده، حاصل شد. کاربرد نانو کود منجر به افزایش رشد رویشی در گیاه تربچه (*Raphanus sativus* L.) شد. این اثر به نقش آن در بهبود جوانه‌زنی بذر مرتبط دانسته شده که به‌طور مستقیم روی ویژگی‌های ریخت‌شناسی تأثیرگذار بوده است (Ditta & Arshad, 2016).

(*Solanum lycopersicum* L.) نشان داد که کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نانو کود پتاسیم، بالاترین ارتفاع بوته را نتیجه می‌دهد (Rostami Ajiloo et al., 2015). کاربرد نانو کود کامل بر اساس ذرات نانو کیتوزان، موجب افزایش جذب مواد غذایی و بهبود فتوسنتز و رشد رویشی و افزایش ارتفاع در گیاه قهوه کشت شده در شرایط گلخانه شد (Chau Ha et al., 2019). Merghany و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که افزایش رشد

جدول ۳- اثر متقابل غلظت و دفعات محلول‌پاشی نانو کود بر شاخص‌های رشد و عملکرد در گیاه مرزه

تابستانه				
غلظت کود نانو (گرم در لیتر)	دفعات محلول‌پاشی (روز)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	عملکرد ماده خشک (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)
۰ (شاهد)	۷	۲۸/۶ ^{ab}	۲/۵۵ ^d	۰/۶۱ ^b
	۱۴	۲۰/۸۰ ^d	۱/۷۹ ^e	۰/۵۶ ^{bc}
۱	۷	۲۸/۹۰ ^{ab}	۲/۵۰ ^d	۰/۴۶ ^{de}
	۱۴	۲۷/۴۰ ^b	۱/۹۱ ^e	۰/۵۱ ^{cd}
۲	۷	۳۰/۳۰ ^a	۳/۵۱ ^b	۰/۶۰ ^{bc}
	۱۴	۲۹/۱۰ ^{ab}	۳/۴۷ ^{bc}	۱/۰۵ ^a
۳	۷	۲۳/۵۰ ^c	۳/۸۶ ^a	۰/۵۷ ^{bc}
	۱۴	۲۸/۸۰ ^{ab}	۲/۵۵ ^d	۰/۵۷ ^{bc}
۴	۷	۲۱/۱۰ ^d	۳/۲۰ ^c	۰/۶۰ ^{bc}
	۱۴	۲۴/۱۰ ^c	۲/۲۹ ^d	۰/۴۰ ^e

وجود حرف مشترک در هر ستون در رابطه با هر صفت نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده غلظت نانو کود و دفعات محلول‌پاشی بر شاخص‌های رشد گیاه مرزه

تابستانه		
غلظت کود نانو (گرم در لیتر)	تعداد شاخساره جانبی	نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه
شاهد (صفر)	۱۲/۹۵ ^c	۳/۷۲ ^c
یک	۱۵/۴۰ ^b	۴/۶۱ ^b
دو	۱۷/۱۰ ^a	۴/۶۱ ^b
سه	۱۶/۰۰ ^{ab}	۵/۶۴ ^a
چهار	۱۵/۸۵ ^{ab}	۵/۵۸ ^a
دفعات محلول‌پاشی		
۷ روز	۱۴/۶۴ ^b	۵/۵۳ ^a
۱۴ روز	۱۶/۲۸ ^a	۴/۱۳ ^b

وجود حرف مشترک در هر ستون در رابطه با هر صفت نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

وزن خشک ریشه و نسبت وزن شاخساره به ریشه

در تیمار محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار، بین غلظت‌های مختلف نانوکود از نظر مقدار وزن خشک ریشه، اختلاف معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد. در حالی‌که محلول‌پاشی ۱۴ روز، غلظت دو گرم در لیتر کود نسبت به سایر تیمارها بیشترین مقدار وزن خشک ریشه را سبب شد و کمترین میزان مربوط به غلظت چهار گرم در لیتر بود و سایر غلظت‌های نانوکود اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان ندادند (جدول ۳). نتایج مربوط به اثر ساده غلظت نانوکود، افزایش معنی‌دار نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه با افزایش غلظت کود را نشان داد. البته بین غلظت‌های یک و دو گرم در لیتر و همچنین سه و چهار گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت (جدول ۴).

مشابه نتایج تحقیق حاضر، کارآمد بودن ذرات نانوکود روی افزایش زیست‌توده و عملکرد در لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) نیز تأیید شده است. در این آزمایش ذرات نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ پی‌پی‌ام بیشترین تأثیر را داشته‌اند (Ponce-Garcia *et al.*, 2019). از آن‌جا که عنصر روی موجود در کودهای نانو منجر به افزایش زیست‌توده و فعالیت آنزیمی می‌شود، کاربرد آن در بهبود نمو مناسب گیاه بسیار اثرگذار است. این عنصر در ثبات و پایداری مولکول‌های کلروفیل، متابولیسم کربوهیدرات و سنتز پروتئین نقش دارد. (El-Habbasha & El-Salam, 2010; Burman *et al.*, 2013). عنصر روی، نقش مؤثری در افزایش غلظت آهن برگ دارد و بخش مهم و اصلی در بسیاری از آنزیم‌ها و پروتئین‌هاست. از سوی دیگر، ارتباط مهمی بین مقدار عنصر روی با میزان سوخت‌وساز نیتروژن وجود دارد و کارا بودن این

عنصر وابستگی زیادی به نوع کود مورد استفاده و نحوه کاربرد آن دارد (Ponce-Garcia *et al.*, 2019). کودهای نانو حاوی عنصر روی با تحریک و تسهیل تولید هورمون اکسین منجر به تقویت تقسیم سلولی و جذب بهتر سایر عناصر معدنی می‌شوند و در نتیجه باعث بهبود رشد رویشی گیاه می‌شوند (Rezaei & Abbasi, 2014). اکسین تولید شده به‌صورت طبیعی باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم‌های مهم و اصلی در سلول گیاهی شده و با

بهبود مسیر بیوسنتزی کربوهیدرات‌ها رشد بهتر گیاه را تأمین خواهد کرد (Alloway, 2008). گزارش شده است که ذرات نانو چیتوزان که با عنصر پتاسیم مخلوط شدند، عملکرد ماده خشک (زیست‌توده) را در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) به‌میزان ۴۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (Kubavat *et al.*, 2020). افزایش وزن خشک ریشه در گیاه برنج تیمار شده با نانوکود KH_2PO_4 قابل مشاهده بود. در صورتی‌که وزن خشک کل و نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه پس از کاربرد نانوکود، ارتباط معنی‌داری نشان ندادند. در این راستا کوتاه بودن مدت آزمایش یا وجود فسفر بیش از اندازه ممکن است موجب کاهش تجمع کربوهیدرات‌ها و در نتیجه کاهش رشد شده باشد (Miranda-Villagomez *et al.*, 2019). افزایش عملکرد وزن خشک در گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) پس از کاربرد نانوکود توسط Amirnia و همکاران (۲۰۱۴)، گزارش شده است.

محتوی کلروفیل و میزان کاروتنوئید

کاربرد غلظت دو گرم در لیتر کود در تیمار محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار منجر به افزایش معنی‌دار کلروفیل کل نسبت به سایر تیمارها شد (۲۶/۴۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و در محلول‌پاشی

غلظت‌ها و شاهد در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۵).

بر پایه مشاهدات Shebl و همکاران (۲۰۱۹)، محلول‌پاشی برگی نانوکود اکسید منگنز، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در برگ‌های کدو (*Cucurbita pepo* L.) را در مقایسه با شاهد افزایش داد. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کاربرد نانوکود با پایه عنصر روی، منجر به افزایش مقدار کلروفیل، فعالیت بیشتر آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز و مقدار فنول کل در مقایسه با کاربرد سولفات روی می‌شود (Yuva Raj, 2014).

به‌صورت ۱۴ روز یک‌بار غلظت یک گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارها در مقدار کلروفیل کل نتیجه داد (جدول ۵). افزایش غلظت کود نانو در هر دو زمان محلول‌پاشی باعث کاهش میزان کلروفیل گردید. مقدار کاروتنوئیدها در دفعات محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار، در غلظت یک گرم در لیتر نانوکود، بیشترین میزان را نشان داد در حالی‌که کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد بود و بین سایر غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت. در زمان‌های محلول‌پاشی ۱۴ روز، بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمارهای چهار و یک گرم در لیتر بود و سایر

جدول ۵- تغییر در محتوی کلروفیل، میزان کاروتنوئید و مقدار فلاون و فلاونول در عصاره برگ گیاه مرزه تابستانه تحت تأثیر غلظت و دفعات محلول‌پاشی نانوکود

غلظت کود نانو (گرم در لیتر)	دفعات محلول‌پاشی (روز)	محتوی کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	میزان کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	میزان فلاون و فلاونول (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک)
۰ (شاهد)	۷	۲۰/۹۱ ^d	۲/۶۰ ^d	۱/۹۰ ^e
	۱۴	۲۱/۵۷ ^{cd}	۶/۶۳ ^b	۱/۸۸ ^e
۱	۷	۱۶/۷۳ ^f	۶/۶۸ ^b	۰/۹۳ ^h
	۱۴	۲۵/۳۶ ^{ab}	۸/۷۲ ^a	۲/۸۶ ^c
۲	۷	۲۶/۴۹ ^a	۵/۸۴ ^c	۱/۶۰ ^f
	۱۴	۲۲/۳۴ ^c	۶/۵۷ ^b	۴/۴۴ ^a
۳	۷	۲۱/۲۷ ^{cd}	۵/۷۱ ^c	۴/۱۸ ^b
	۱۴	۲۲/۴۱ ^c	۶/۵۵ ^b	۲/۲۷ ^d
۴	۷	۱۸/۷۳ ^e	۵/۶۲ ^c	۲/۴۷ ^d
	۱۴	۲۴/۹۲ ^b	۹/۱۶ ^a	۱/۲۷ ^g

وجود حرف مشترک در هر ستون در رابطه با هر صفت نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

کاروتنوئیدها، مقدار کربوهیدرات کل و همچنین افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و در نهایت بالا رفتن عملکرد شد. این نوع کود با تقویت متابولیسم گیاه از طریق تغذیه مناسب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف با راندمان بالاتر رشد رویشی گیاه را افزایش داد و با تأثیر مستقیم روی فرآیند

استفاده از یک نوع نانوکود کامل تجاری روی گیاه لفل (*Capsicum* sp.)، منجر به بهبود صفات مربوط به رشد رویشی از جمله طول ریشه، ارتفاع بوته و سطح برگ شد. افزایش مقدار نسبی و کل آب در برگ، مقدار آب آزاد و پیوندی در برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و

اثر متقابل تیمارها بر میزان فلاونوئید کل معنی‌دار نگردید؛ در حالی که اثر ساده سطوح مختلف نانوکود روی مقدار فلاونوئید کل نشان داد که غلظت‌های یک و دو گرم در لیتر نانوکود موجب افزایش معنی‌دار فلاونوئید کل شدند؛ در حالی که اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های سه و چهار گرم در لیتر نانوکود با شاهد مشاهده نشد (شکل ۳). نتایج مربوط به اثر متقابل دفعات محلول‌پاشی نانوکود و غلظت‌های مختلف آن بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمارها در شکل شماره ۴ منعکس شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود در زمان محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار، محلول‌پاشی در غلظت یک گرم در لیتر، کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را موجب شد (۵۰/۷۰ درصد) و بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (به ترتیب ۸۰/۲۱ و ۷۸/۸۶ درصد) مربوط به غلظت‌های دو و سه گرم در لیتر نانوکود بود. نکته جالب توجه این است که در دفعات محلول‌پاشی ۱۴ روز یک‌بار نیز کاهش معنی‌دار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در غلظت یک گرم در لیتر (۳۷/۸۳ درصد) مشاهده شد. به‌طور کلی در غلظت‌های بالاتر از یک گرم در لیتر تا سطح سه گرم در لیتر نانوکود افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده گردید (شکل ۴).

در رابطه با میزان ترکیبات فنولی، اثر متقابل نانوکود و دفعات محلول‌پاشی نتایج نشان داد که کاربرد غلظت سه گرم در لیتر نانوکود به‌صورت هفت روز یک‌بار بیشترین مقدار ترکیبات فنولی کل (۶۷/۲۱ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم نمونه خشک) را نتیجه داد در حالی که کمترین میزان مربوط به تیمارهای یک گرم در لیتر و شاهد بود. در دفعات محلول‌پاشی ۱۴ روز یک‌بار به ترتیب غلظت‌های دو و سه گرم در لیتر نانوکود مؤثرتر عمل کردند (به ترتیب ۶۹/۶۹ و ۶۱/۴۵ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم نمونه خشک). کمترین مقدار

فتوسنتز و افزایش راندمان فتوسنتزی منجر به افزایش عملکرد شد (Abd El-Ail, 2019). جذب سریع‌تر عناصر از جمله منیزیم در نانوکودها در خاک‌هایی که کمبود منیزیم دارند می‌تواند باعث افزایش مقدار کلروفیل و در نهایت تثبیت بیشتر دی‌اکسید کربن در بافت گیاه شود. در نتیجه فتوسنتز بیشتری انجام شده و رشد رویشی افزایش پیدا کند (Abo Sedera et al., 2016). اثر انگیزشی ریزمغذی‌ها در تولید کلروفیل بیشتر، بهبود فتوسنتز و تنفس میتوکندریایی و تقویت بیوسنتز هورمون‌ها از جمله اتیلن، جیبرلیک اسید و جاسمونیک اسید در افزایش رشد رویشی بسیار مؤثر است (Hansch & Mendel, 2009). اثر افزایشی نانوکود روی بر رشد رویشی لوبیا سبز نیز به افزایش مقدار کلروفیل نیز نسبت داده شده است (Mohamed Marzouk et al., 2019). کاهش محتوی کلروفیل کل با افزایش غلظت کود ممکن است به دلیل تجمع بالای عناصر در بافت گیاهی و تأثیر منفی غلظت بالای کود باشد.

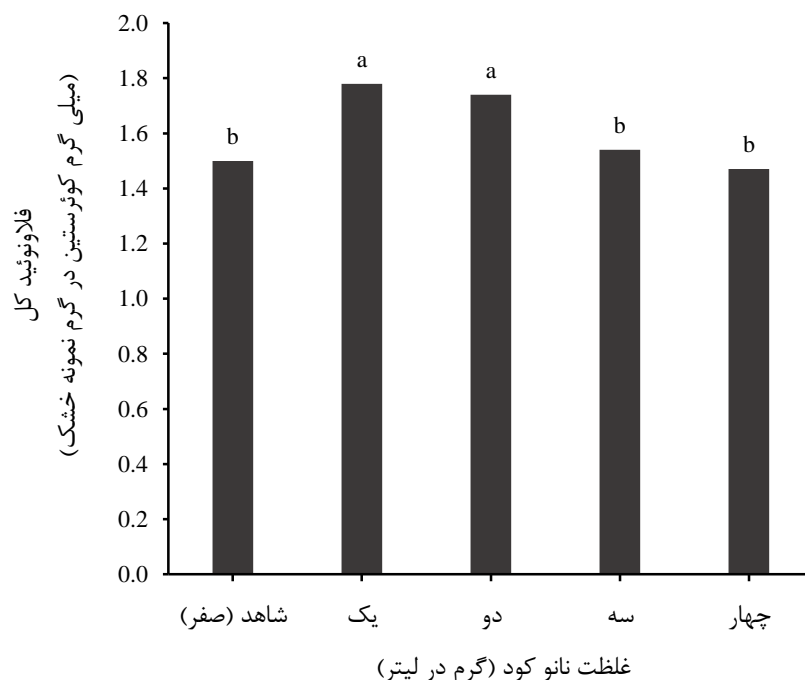
خصوصیات بیوشیمیایی

در دفعات محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار، کاربرد نانوکود در غلظت سه گرم در لیتر (۴/۱۸ میلی‌گرم کوئرستین در گرم نمونه خشک)، افزایش معنی‌دار مقدار فلاون و فلاونول قابل مشاهده بود. کمترین میزان نیز مربوط به غلظت یک گرم در لیتر نانوکود (۰/۹۳ میلی‌گرم کوئرستین در گرم نمونه خشک) مشاهده شد. در واقع افزایش غلظت کود تا سطح سه گرم در لیتر موجب افزایش میزان فلاون و فلاونول گردید. در دفعات محلول‌پاشی ۱۴ روز یک‌بار غلظت دو گرم در لیتر نانوکود بیشترین مقدار فلاون و فلاونول (۴/۴۵ میلی‌گرم کوئرستین در گرم نمونه خشک) را نتیجه داد و با افزایش غلظت کود میزان این ترکیب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵).

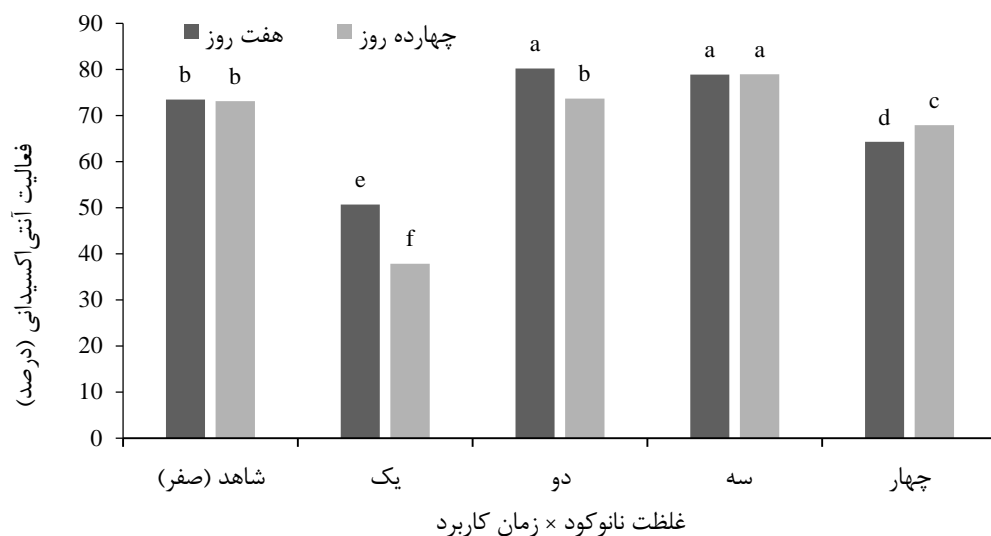
زمستانه گیاه بالنگو (*Lallemantia iberica* L.) در تقویت اجزای عملکرد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی داشته است (Mohammad et al., 2019). در مورد گیاه فلفل هابانرو (*Capsicum chinense* L.) گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی ذرات نانو اکسید روی منجر به افزایش فلاونوئیدها و فنول کل می‌شود (Garcia-Lopez et al., 2019). از آنجا که عناصر به‌صورت ذرات نانو، تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوناگونی را در گیاه به‌وجود می‌آورند، احتمالاً به‌دلیل وجود مکانیسم عملکرد خاص ذرات نانو پس از ورود آسان به داخل سلول گیاه به‌مقدار بیشتر، نوعی مسمومیت ایجاد می‌کنند و تجمع و انحلال‌پذیری بالای این ذرات، سلول گیاهی را وادار به‌نوعی دفاع و تولید ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی می‌کند (Campos et al., 2013).

ترکیبات فنولی کل (۳۵/۸۸ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم نمونه خشک) مربوط به غلظت یک گرم در لیتر کود نانو بود (شکل ۵).

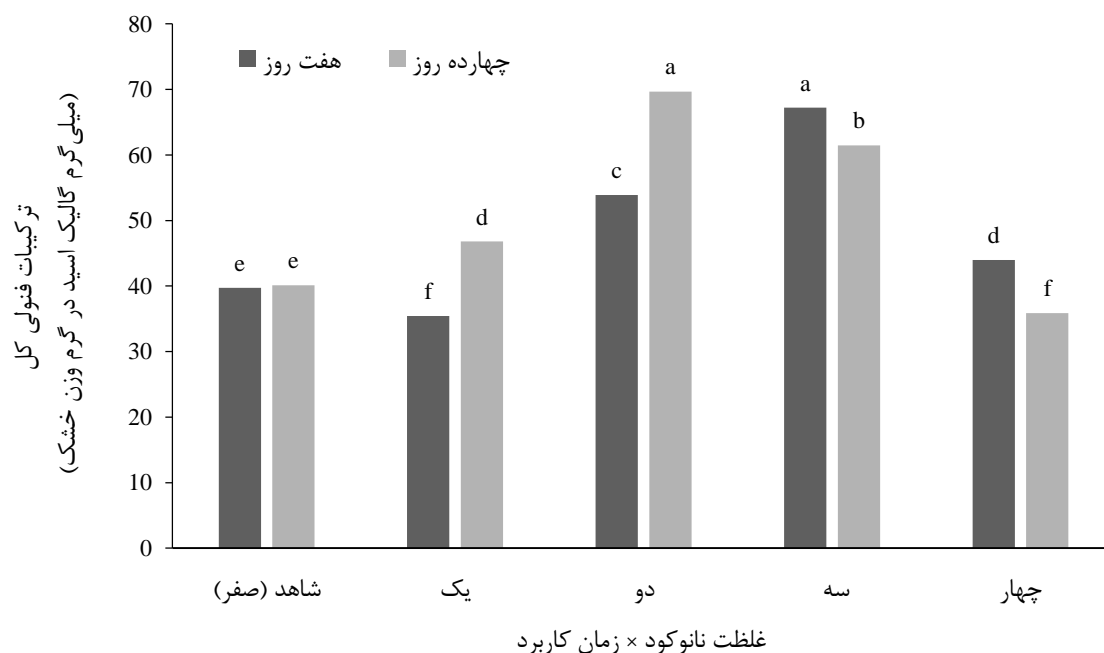
Benzon و همکاران (۲۰۱۵) مشخص کردند که کاربرد نانوکود روی گیاه برنج باعث افزایش ترکیبات فنولی کل و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی می‌شود. طبق گزارش Alizadeh و همکاران (۲۰۱۰)، بیشترین میزان فنول کل در گیاه خرفه پس از کاربرد نانوکود به‌مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم به ازای هر گیاه یافت شد. کاربرد محلول‌پاشی برگی نانوکود آهن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شاخساره این گیاه را افزایش داد. جذب بالاتر نانوکود، نفوذ و انتقال مؤثرتر در سلول‌های گیاه، کمبود مواد غذایی را جبران می‌کند و تغذیه کافی و مناسبی را جهت افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراهم می‌کند (Benzon et al., 2015). کاربرد نانوکود در کشت



شکل ۳- اثر غلظت محلول‌پاشی نانوکود بر مقدار فلاونوئید کل در برگ گیاه مرزه تابستانه



شکل ۴- اثر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوکود بر درصد فعالیت آنزیم اکسیدانی عصاره برگ مرزه تابستانه



شکل ۵- اثر غلظت و دفعات محلول پاشی نانوکود بر میزان ترکیبات فنولی کل موجود در عصاره برگ گیاه مرزه تابستانه

لیتر نانوکود با دفعات محلول پاشی هفت روز یکبار را پیشنهاد کرد. غلظت‌های یک و چهار گرم در لیتر نانوکود را به منظور افزایش مقدار کلروفیل کل گیاه مرزه با فواصل زمانی طولانی تر محلول پاشی می توان در نظر گرفت. مقدار فلاون و فلاونول گیاه مرزه پس از استفاده از غلظت سه گرم در لیتر نانوکود، با

نتیجه گیری کلی

به طور کلی می توان نتیجه گرفت، کاربرد کود نانو تا حدودی در افزایش برخی صفات مربوط به عملکرد و بیوشیمیایی گیاه مرزه تأثیر مثبت داشته است. با هدف افزایش عملکرد ماده خشک و ارتفاع بوته در گیاه مرزه می توان استفاده از غلظت سه گرم در

افزایش مقدار ترکیبات فنولی، کاربرد نانوکود منجر به افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی در گیاه مرزه شده است. اما در غلظت‌های کمتر نانوکود مقدار فلاونوئیدها در گیاه مرزه افزایش نشان داد. احتمال وقوع پدیده‌های متنوع و متعددی در سلول گیاهی پس از کاربرد نانوکود وجود دارد که با توجه به مواردی که در این پژوهش به آن اشاره شد، به‌نظر می‌رسد بررسی کاربرد نانوکود با استفاده از عناصر به شکل ترکیبات اتریکس و مجزا بهتر می‌تواند به دریافت علت و مکانیسم عمل این نوع کودها در گیاه مرزه تابستانه کمک کند.

دفعات محلول‌پاشی کوتاه‌تر، افزایش نشان داده است. این‌طور به‌نظر می‌رسد که ترکیبات اثرگذار در ارتباط با افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی تنها پس از کاربرد غلظت یک گرم در لیتر نانوکود، افزایش نشان داده‌اند. استفاده از نانوکود با غلظت سه گرم در لیتر در دفعات محلول‌پاشی هفت روز یک‌بار و همچنین، غلظت دو گرم در لیتر در دفعات محلول‌پاشی ۱۴ روز یک‌بار، جهت افزایش مقدار ترکیبات فنولی کل در گیاه مرزه پیشنهاد می‌شود. این موضوع می‌تواند مؤید این مطلب باشد که در غلظت‌های بالاتر از یک گرم در لیتر، هم‌زمان با

References

- Abd Ell-All, A. M. (2019). Nano-Fertilizer application to increase growth and yield of Sweet Pepper under potassium levels. *Agricultural Research and Technology*, 19(4), 145-156.
- Abo-sedera, F., Shams, A. S., Mohamed, M. H. M. & Hamoda, A. H. M. (2016). Effect of organic fertilizer and foliar spray with some safety compounds on growth and productivity of snap bean. *Annals of Agricultural Science Moshtohor*, 54(1): 105-118.
- Adisa, I. O., Pullagurala, V. L. R., Peralta-Videa, J. R., Dimkpa, C. O., Elmer, W. H., Gardea-Torresdey, J. L. & White, J. C. (2019). Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. *Environmental Science: Nano*, 6(7), 2002-2030.
- Ajirloo, A. R., Shaaban, M. & Motlagh, Z. R. (2015). Effect of K nano-fertilizer and N bio-fertilizer on yield and yield components of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 3(1), 138-143.
- Albanese, A., Tang, P. S. & Chan, W. C. (2012). The effect of nanoparticle size, shape, and surface chemistry on biological systems. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 14, 1-16.
- Alizadeh, A., Khoshkhui, M., Javidnia, K., Firuzi, O., Tafazoli, E. & Khalighi, A. (2010). Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity in *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae) cultivated in Iran. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(1), 33-40.
- Alloway, D. (2008). *Zinc in soils and crop nutrition*. Published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.
- Amirnia, R., Bayat, M. & Tajbakhsh, M. (2014). Effects of nano fertilizer application and maternal corm weight on flowering at some saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(2), 158-168.
- Benzon, H. R. L., Rubenecia, M. R. U., Ultra Jr, V. U. & Lee, S. C. (2015). Nano-fertilizer affects the growth, development, and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(1), 105-117.

- Burman, U., Saini, M. & Kumar, P. (2013). Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 95(4), 605-612.
- Campos, M. R. S., Gomez, K. R., Ordo, Y. M. & Ancona, D. B. (2013). Polyphenols, ascorbic acid and carotenoids contents and antioxidant properties of habanero pepper (*Capsicum chinense*) fruit. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 47-54.
- Ditta, A & Arshad, M. (2016). Applications and perspectives of using nanomaterials for sustainable plant nutrition. *Nanotechnol Review*, 5(2): 209-229.
- El Habbasha, E. S. F. & El Salam, M. A. (2009). Response of two canola varieties (*Brassica napus* L.) to nitrogen fertilizer levels and zinc foliar application. *International Journal of Academic Research*, 2, 60-66.
- El-Kereti, M., A El-feky, S., S Khater, M., A Osman, Y. & A El-sherbini, E. S. (2013). ZnO nanofertilizer and He Ne laser irradiation for promoting growth and yield of sweet basil plant. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 5(3), 169-181.
- Garcia-Lopez, J. I., Nino-Medina, G., Olivares-Saenz, E., Lira-Saldivar, R. H., Barriga-Castro, E. D., Vázquez-Alvarado, R., Rodriguez-Salinas, P. A. & Zavala-Garcia, F. (2019). Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. *Plants*, 8(8), 254-266.
- Ha, N. M. C., Nguyen, T. H., Wang, S. L. & Nguyen, A. D. (2019). Preparation of NPK nanofertilizer based on chitosan nanoparticles and its effect on biophysical characteristics and growth of coffee in greenhouse. *Research on Chemical Intermediates*, 45(1), 51-63.
- Hadian, J., Tabatabaei, S. M. F., Naghavi, M. R., Jamzad, Z. & Ramak-Masoumi, T. (2008). Genetic diversity of Iranian accessions of *Satureja hortensis* L. based on horticultural traits and RAPD markers. *Scientia Horticulturae*, 115(2), 196-202.
- Hansch, R. & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 259-266.
- Haverkamp, R. G. & Marshall, A. T. (2009). The mechanism of metal nanoparticle formation in plants: limits on accumulation. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(6), 1453-1463.
- Kubavat, D., Trivedi, K., Vaghela, P., Prasad, K., Vijay Anand, G. K., Trivedi, H., Patidar, R., Chaudhari, J., Andhariya, B. & Ghosh, A. (2020). Characterization of a chitosan-based sustained release nanofertilizer formulation used as a soil conditioner while simultaneously improving biomass production of *Zea mays* L. *Land Degradation & Development*, 31(17), 2734-2746.
- Lafmejani, Z. N., Jafari, A. A., Moradi, P. & Moghadam, A. L. (2018). Impact of foliar application of copper sulphate and copper nanoparticles on some morpho-physiological traits and essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Herba Polonica*, 64(2), 13-24.
- Marzouk, N. M., Abd-Alrahman, H. A., EL-Tanahy, A. M. M. & Mahmoud, S. H. (2019). Impact of foliar spraying of nano micronutrient fertilizers on the growth, yield, physical quality, and nutritional value of two snap bean cultivars in sandy soils. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1-9.
- Mazumder, J. A., Khan, E., Pervez, M., Gupta, M., Kumar, S., Raza, K. & Sardar, M. (2020). Exposure of biosynthesized nanoscale ZnO to *Brassica juncea* crop

- plant: Morphological, biochemical and molecular aspects. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Conforti, F., Statti, G., De Cindio, B., Houghton, P. J. & Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chemistry*, 114(2), 553-560.
 - Merghany, M. M., Shahein, M. M., Sliem, M. A., Abdelgawad, K. F. & Radwan, A. F. (2019). Effect of nano-fertilizers on cucumber plant growth, fruit yield and it's quality. *Plant Archives*, 19(2), 165-172.
 - Miranda-Villagómez, E., Trejo-Tellez, L. I., Gomez-Merino, F. C., Sandoval-Villa, M., Sanchez-Garcia, P. & Aguilar-Mendez, M. A. (2019). Nanophosphorus Fertilizer Stimulates Growth and Photosynthetic Activity and Improves P Status in Rice. *Journal of Nanomaterials*, doi.org/10.1155/2019/5368027.
 - Mohammad Ghasemi, V., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Pourakbar, L. & Popovic-Djordjevic, J. (2020). Winter Cultivation and Nano Fertilizers Improve Yield Components and Antioxidant Traits of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer). *Plants*, 9(2), 252-260.
 - Mohtashami, S., Rowshan, V., Tabrizi, L., Babalar, M., & Ghani, A. (2018). Summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil constituent oscillation at different storage conditions. *Industrial Crops and Products*, 111, 226-231.
 - Mozaffarian, V. (2017). *Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran* (third ed). Farhang Moaser Publishers, Tehran. (In Farsi)
 - Oke, F., Aslim, B., Ozturk, S. & Altundag, S. (2009). Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Satureja cuneifolia* Ten. *Food Chemistry*, 112(4), 874-879.
 - Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M. A., Morshedloo, M. R., Nouraein, M., Rasouli, F., & Maggi, F. (2020). Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. *Industrial Crops and Products*, 148, 112290.
 - Parks, S. E., Irving, D. E. & Milham, P. J. (2012). A critical evaluation of on-farm rapid tests for measuring nitrate in leafy vegetables. *Scientia Horticulturae*, 134, 1-6.
 - Peyvandi, M., Parande, H. & Mirza, M. (2011). Comparison of nano Fe Chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum basilicum*. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 1(4), 89-98. (In Farsi)
 - Ponce-García, C. O., Soto-Parra, J. M., Sanchez, E., Munoz-Marquez, E., Pina-Ramirez, F. J., Flores-Cordova, M. A., Perez-Leal, R. & Yanez Munoz, R. M. (2019). Efficiency of nanoparticle, sulfate, and zinc-chelate use on biomass, yield, and nitrogen assimilation in green beans. *Agronomy*, 9(3), 128-135.
 - Popova, M., Bankova, V., Butovska, D., Petkov, V., Nikolova-Damyanova, B., Sabatini, A. G. & Bogdanov, S. (2004). Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 15(4), 235-240.
 - Rezaei, M. & Abbasi, H. (2014). Foliar application of nanochelate and non-nanochelate of zinc on plant resistance physiological processes in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Iranian Journal of Plant Physiology*, 4(4), 1137-1144. (In Farsi)

- Shebl, A., Hassan, A. A., Salama, D. M., El-Aziz, A. & Abd Elwahed, M. S. (2019). Green synthesis of nanofertilizers and their application as a foliar for *Cucurbita pepo* L. *Journal of Nanomaterials*, doi.org/10.1155/2019/3476347.
- Sukran, D. E. R. E., Gues, T. & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22(1), 13-18.
- Vafa, Z. N., Sirousmehr, A. R., Ghanbari, A., Khammari, I. & Falahi, N. (2015). Effects of nano zinc and humic acid on quantitative and qualitative characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Bioscience and Biotechnology*, 4(6), 56-67.
- Wan, A., Gao, Q. & Li, H. (2010). Effects of molecular weight and degree of acetylation on the release of nitric oxide from chitosan-nitric oxide adducts. *Journal of Applied Polymer Science*, 117(4), 2183-2188.
- Wojdyło, A., Oszmianski, J. & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 105(3), 940-949.
- Yuvaraj, M. & Subramanian, K. S. (2014). Effect of zinc based nano fertilizer on physiological parameter. *Trends in Biosciences*, 7(17), 2561-2563.