دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره دوازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱

واکنش مورفوفیزیولوژیکی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) به محلول‌پاشی نانوکلات آهن و نانوکلات روی

صدف فراهانی[۱]،حمیدرضا جوانمرد[۲*]،حسینعلی اسدی قارنه[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) ،اصفهان ،

۲* - حمیدرضا جوانمرد، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان ، ایران ،

۳ - حسینعلی اسدی قارنه، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) ،اصفهان ، ایران ،

*مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: javanmard@khuisf.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۲۵ خرداد ۱۴۰۱، تاریخ پذیرش:۴ تیرماه ۱۴۰۱)

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی تیمارهای نانوکلات‌های آهن و روی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار شامل شاهد، چهار غلظت نانوکلات آهن (۰/۵، یک، ۱/۵ و دو گرم برلیتر) و چهار غلظت نانوکلات روی (۰/۵، یک، ۱/۵ و دو گرم برلیتر) و در سه تکرار بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیکی گیاه گشنیز در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. نتایج نشان داد، بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن و بیشترین میزان کلروفیل b در تیمارهای دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن و دو گرم بر لیتر نانوکلات روی حاصل شد. بیشترین سطح برگ در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن با میزان ۳۲۳۰ سانتی متر مربع در بوته حاصل شد. بیشترین تعداد چتر در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن با میزان ۲۵/۳۳ عدد در بوته مشاهده شد. بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات روی به دست آمد. بیشترین تعداد شاخه فرعی گیاه در تیمارهای دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن و روی با میزان ۱۱/۳۳ عدد در بوته حاصل شد. بیشترین وزن هزار دانه و بیشترین تعداد بذر در چتر در تیمارهای دو گرم برلیتر نانوکلات روی و دو گرم برلیتر نانوکلات آهن حاصل شد. بر اساس نتایج به دست‌آمده محلول‌پاشی تیمارهای نانوکلات آهن و روی بر ویژگی‌های گیاه دارویی گشنیز اثر داشت. دربین غلظت‌های مورد بررسی غلظت دو گرم برلیتر نانوکلات آهن و روی بیشترین اثر را در صفات مورد بررسی نشان داد.

واژه های کلیدی: رنگدانه‌های فتوسنتزی ، سطح برگ ، کودهای نانو ،گیاه دارویی، وزن هزاردانه

مقدمه

گشنیز با نام علمی (*Coriandrum sativum* L.) گیاهی علفی، بی‌کرک و یک‌ساله ازخانواده چتریان (*Apiaceae*)، به ارتفاع ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر، دارای برگ‌های سبز روشن مایل به زرد با دمبرگ‌های ترد همچنین ساقه راست، شفاف و کم و بیش شیاردار است. اگرچه منشأ اصلی گشنیز به نواحی جنوب غربی آسیا و مدیترانه نسبت داده می‌شود، ولی امروزه در سرتاسر دنیا یافت‌شده و پرورش می‌یابد (۳۷). در تحقیقات فارماکولوژیک اثر کاهش‌دهنده قند و کلسترول‌خون و اثر ضدباکتری و ضدقارچ برای این گیاه اثبات شده‌است (۴۷). استفاده از نانوکودها به‌منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصرغذایی می‌تواند گامی مؤثر درجهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد (۴۶). با به کارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصرغذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده آزاد می‌شود (۲۴). با استفاده از فناوری‌نانو می‌توان به فرمول‌بندی کنترل‌کننده‌ی آزادسازی عناصرغذایی، انحلال‌پذیری و پراکندگی عناصرمعدنی کم مصرف، راندمان جذب و مدت‌زمان مؤثر رهاسازی عناصرغذایی و کاهش سرعت اتلاف آن‌ها اشاره کرد (۴۰). با فرمول‌بندی عناصرمعدنی کم مصرف در اندازه‌های نانومتر، انحلال‌پذیری و پراکندگی عناصرغذایی نامحلول در خاک افزایش می‌یابد و متعاقباً جذب و تثبیت آن‌ها به وسیله‌ی خاک کاهش یافته و جذب گیاهی آن‌ها بیشتر می‌شود (۴۸). سرعت رهاسازی و همچنین الگوی رهاسازی عناصرغذایی کودهای محلول‌درآب از طریق قراردادن آن‌ها داخل کپسول‌هایی از جنس غشاهای نیمه تراوایی که از پلیمر رزین، موم و سولفور تشکیل شده اند، دقیقاً قابل کنترل است (۲۷). همچنین فرمول‌بندی نانو می‌تواند مدت‌زمان مؤثر رهاسازی عناصرغذایی منبع‌کودی به داخل خاک را طولانی‌تر کند. فرمول‌بندی نانو می‌تواند سرعت اتلاف عناصرغذایی کود از طریق آبشویی را کاهش دهد (۲۰). یکی از مشکلات عمده خاک های قلیایی که بخش عمده ای از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران را تشکیل می‌دهند، کمبود آهن قابل‌استفاده گیاه می‌باشد. آهن یکی از عناصر ضروری است که گیاهان دربین ریزمغذی‌ها بیشترین نیاز را به آن دارند. آهن از طریق اثر بر ریبوزوم‌ها، سنتز پروتئین را در سلول‌های برگ تحت اثر قرار می‌دهد و در فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز مورد بررسی قرارگرفته است (۴۱). امروزه اعتقاد بر این است که آهن در سنتز پروتئین و رشد نوک ریشه و بیوسنتز هورمون‌های اتیلن، اسید جیبرلیک و جاسمونیک اسید نقش دارد (۱۴). بیشترین میزان آهن موجود در گیاه به فرم فریک (Fe^{3+}) در باندهای فسفو پروتئین فریک است(۱۶). مشخص‌شده است پیوند اتیلنی، با پایداری و ثبات بالا (آزاد شدن تدریجی آهن در رنج pH بین ۳ تا ۱۱) برای گیاهان می‌باشند (۱۴). در بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌آهن بر روی گیاه ریحان مقدس، به این نتیجه رسیدند که این کود بر ویژگی‌های میزان سبزینه و کاروتنوئید اثر مثبت و معنی‌داری داشته‌است. بهبود صفات رشدی گیاه دارویی ریحان در نتیجه کاربرد عناصر کم‌مصرف ازجمله نانوکلات آهن و روی ممکن است به دلیل افزایش شدت فتوسنتز و فعالیت‌هایی باشد که منجر به افزایش تقسیم سلولی و طویل شدن آن‌ها می‌شود (۱۲و۸).

عنصر روی (Zn^{2+}) یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری برای رشد گیاهان است که در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها جزء کلیدی و به عنوان کوفاکتور عمل می‌نماید (۴۹). این عنصر نقش بسیار مهمی را در متابولیسم گیاهان با اثرکردن بر روی فعالیت آنزیم‌های مختلف از جمله آنزیم‌های دهیدروژناز، پروتئیناز، کربنیک انهیدراز، تشکیل RNA، تنظیم کننده‌های رشد، پایداری عملکرد ریبوزومی و سنتز سیتوکروم‌ها دارد (۱۰). برخی از محققان معتقدند که فلز روی از طریق محافظت پروتئین‌ها و لیپیدهای غشایی در برابر رادیکال‌های آزاد و سایر محصولات حاصل از واکنش‌های احیایی درون‌سلولی سبب حفظ تمامیت غشای سلول‌ها می‌شود (۳۲). کمبود روی توسعه

بسیاری از ناهنجاری‌ها را در رشد گیاهان مانند کلروزه_شدن و کوچک‌ماندن برگ‌ها، کوتاه‌قدی و ایجاد حالت روزت در گیاهان سبب می‌شود .بدین‌منظور در این پژوهش اثر نانوکلات‌آهن و روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی‌گیاه‌گشنیز مورد ارزیابی قرارگرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه گشنیز در سال(۱۳۹۸-۱۳۹۹) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و در سه تکرار در کرت‌های آزمایشی (به ابعاد سه متر در دو متر) در مرکز تحقیقات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان واقع در منطقه خاتون‌آباد خوراسگان با طول جغرافیایی ۵۱درجه و ۴۷دقیقه و ۲۰ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲درجه و ۳۹دقیقه و ۳۹ثانیه شمالی و با ارتفاع ۱۵۱۷متر از سطح دریا انجام گرفت. تیمارهای مورد ارزیابی شامل شاهد (محلول پاشی با آب مقطر)، غلظت‌های نانوکلات آهن (۰/۵، یک، ۱/۵ و دو گرم بر لیتر) و غلظت‌های نانوکلات روی (۰/۵، یک، ۱/۵ و دو گرم بر لیتر) بود. جهت اجرای پژوهش، بذور گشنیز از شرکت پاکان بذر خریداری شد. در ابتدا عملیات آماده‌سازی زمین از جمله شخم زمین آزمایشی، دیسک‌زنی و تسطیح کامل انجام گرفت. قبل از کاشت گیاه، نمونه‌برداری از خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از پنج قسمت مختلف در زمین به‌طور تصادفی انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موردنظر اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکی–شیمیایی بافت خاک مورد استفاده در جدول(۱) گزارش شده است. بذرها به‌صورت خطی به فاصله ۱۵ سانتی متر روی خط و هر خط به فاصله ۳۰ سانتی متر از خط دیگر کشت گردید. نحوه آبیاری به صورت قطره ای انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت بذور انجام شد. نانوکلات‌ها از شرکت خضرا خریداری شدند. هنگامی‌که گیاهچه‌ها به مرحله شش تا هشت برگی رسیدند و از لحاظ استقرار در زمین کاملاً تثبیت شدند، اقدام به محلول‌پاشی گیاهان با نانوکلات آهن و نانوکلات روی کرده و این‌کار در فواصل ۱۵ روزه تا مرحله گلدهی و بذردهی کامل در ساعات اولیه صبح و به طورکلی سه بار در طول آزمایش تکرار شد. در این پژوهش از هیچ‌گونه علف‌کش، کودشمیایی قبل از کاشت وکود دامی استفاده نشد؛ لذا زمین فاقد هرگونه کود و سموم شیمیایی بود. در طول فصل رشد، مراقبت‌های زراعی لازم از جمله وجین علف‌های هرز به صورت دستی و آبیاری به صورت مداوم و هفتگی انجام گرفت. سپس در مرحله گلدهی و بذردهی به صورت کامل، برداشت انجام شده و جهت ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژیکی نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه

EC (دسی زیمنس بر متر)	pH	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	اشباع خاک (%)	روی (میلی گرم در کیلوگرم)	آهن (میلی گرم در کیلوگرم)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	رس (%)
۵/۸	۷/۵	۰/۵۵	۰/۰۶	۵۹	۰/۳۶	۰/۳۸	۳۴	۳۲۰	۴۴

در پایان آزمایش، تعداد چتر و تعداد شاخه‌های جانبی در هر گیاه شمارش و ارتفاع گیاهان با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. سنجش کلروفیل با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل D 6320) و بر طبق روابط (۱) اندازه‌گیری شد.

روابط (۱)

$$\text{Chl.a (mg.g}^{-1}) = [(12.7 \times \text{Abs}_{645})] \times \frac{V}{W} \times 1000$$

$$\text{Chl.b (mg.g}^{-1}) = [(22.9 \times \text{Abs}_{645}) - (4.68 \times \text{Abs}_{663})] \times \frac{V}{W} \times 1000$$

$$\text{Chl.total (mg.g}^{-1}) = \text{Chl.a} + \text{Chl.b}$$

$$\text{Car} = \frac{(1000\ \text{A470} - 1.82\ \text{Chla} - 85.02\ \text{Chlb})}{198}$$

در این روابط Abs 645 (جذب خوانده شده در طول موج ۶۴۵ نانومتر)، Abs 663 (جذب خوانده شده در طول موج ۶۶۳ نانومتر)، V (حجم استون استفاده شده بر حسب میلی‌لیتر) و W (وزن تازه برگ مورد استفاده بر حسب گرم) در نظر گرفته شد. همچنین سطح برگ‌های گیاهان گشنیز با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf area meter) اندازه‌گیری شد. وزن هزاردانه بذرها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه گیری شد. بعد از برداشت کامل گیاهان، تعداد بذر در هر یک از چترها به دقت شمارش و ثبت گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار آماری SAS9.1، جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD و جهت رسم نمودارها و جداول از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد و اثر تیمار بر میزان کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در گیاه گشنیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). به طوری‌که، بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن به میزان ۰/۴۵ میلی‌گرم در گرم و کمترین میزان در تیمار شاهد به میزان ۰/۲۱ میلی‌گرم در گرم حاصل شد (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل b در تیمارهای دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن و دو گرم بر لیتر نانوکلات روی به ترتیب با میزان ۰/۳۳ و ۰/۳۱ میلی‌گرم در گرم حاصل شد، درحالی‌که، کمترین میزان در تیمار شاهد با میزان ۰/۱۴ میلی‌گرم در گرم نشان داده شد (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن با میزان ۰/۷۷ میلی‌گرم در گرم حاصل شد، درحالی‌که، کمترین میزان در تیمار شاهد با میزان ۰/۳۸ میلی‌گرم در گرم حاصل شد (جدول ۳). بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن با میزان ۰/۱۸ میلی‌گرم در گرم حاصل شد، درحالی‌که، کمترین میزان در تیمار شاهد با میزان ۰/۰۵ میلی‌گرم در گرم نشان داده شد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای نانوکلات آهن و روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گشنیز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیلb	کلروفیل کل	کاروتنوئید
بلوک	۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۴
تیمار	۸	۰/۰۱۸*	۰/۰۱۱**	۰/۰۳۶**	۰/۰۰۴**
خطا	۱۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات		۲۳/۱۹	۱۷/۳۱	۱۵/۲۹	۲۴/۸

* و **: به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳- نتایج مقاسیه میانگین اثر تیمارهای نانوکلات آهن و روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گشنیز

تیمار		کلروفیل a (میلی گرم در گرم)	کلروفیلb (میلی گرم در گرم)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم)	کاروتنوئید (میلی گرم در گرم)
نانوکلات آهن (گرم در لیتر)	شاهد	۰/۲۱ d	۰/۱۴ c	۰/۳۸ d	۰/۰۵ c
	۰/۵	۰/۲۳ cd	۰/۱۹ bc	۰/۴۸ bcd	۰/۱۲ b
	۱	۰/۳ bcd	۰/۱۹ bc	۰/۵۴ bc	۰/۱۳ ab
	۱/۵	۰/۳۴ abc	۰/۲۴ b	۰/۵۸ b	۰/۱۵ ab
	۲	۰/۴۵ a	۰/۳۳ a	۰/۷۷ a	۰/۱۸ a
نانوکلات روی (گرم در لیتر)	۰/۵	۰/۲۳ cd	۰/۱۹ bc	۰/۴۲ cd	۰/۱۱ b
	۱	۰/۲۹ bcd	۰/۱۹ bc	۰/۵۳ bc	۰/۱۲ b
	۱/۵	۰/۳۳ a-d	۰/۲۱ bc	۰/۵۳ bc	۰/۱۳ b
	۲	۰/۳۷ ab	۰/۳۱ a	۰/۵۴ bc	۰/۱۵ ab
LSD		۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۵

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف متفاوت هستند، در سطح پنج درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌دار دارند.

نقش آهن در ساخت کلروفیل، تولید کربوهیدرات‌ها، تنفس، احیای شیمیایی نیترات و سولفات حیاتی است و نقش اساسی در ساختمان کلروپلاست دارد. در گیاهان سبز اغلب میان سطح آهن و مقدار کلروفیل همبستگی مناسبی وجود دارد و گیاهانی که به خوبی از آهن برخوردارند دارای کلروفیل بیشتری هستند. آهن نقش مهمی در سنتز rRNA و mRNA کلروپلاست‌ها ایفا می‌کند که بر روی سنتز کلروفیل‌ها اثر می‌گذارد. عنصرآهن به عنوان عامل اکسایش و کاهش در بخشی از ساختمان ناقلانی که در ترافرستی الکترون دخالت دارند نظیر سیتوکروم‌ها که در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن نقش دارند، وجود دارد و همچنین باعث افزایش تولید فتوسنتتات‌های موردنیاز برای رشد و نمو گیاه مثل افزایش رشد برگ می‌شود (۱۰). افزون بر نقش کلیدی آهن در سیستم فتوسنتزی، این عنصر کوفاکتور یا جزء ساختاری بسیاری از آنزیم‌های آنتی اکسیدانی است که کمبود آن منجر به کاهش فعالیت چندین سیستم آنزیمی نظیر سیتوکروم اکسیداز، فرودوکسین، زنجیره انتقال الکترون و برخی آنزیم ها در گیاهان می‌شود. آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، مالون دی آلدئید و بازسازی سلول‌های تخریب شده نقش مثبت و موثری دارند (۱۶). همچنین آهن یکی از اجزای پروتئینی فرودوکسین بوده که برای احیاء نیترات و سولفات و آسیمیلاسیون نیتروژن و تولید انرژی و افزایش NADP و ATP لازم می‌باشد. آهن در سه مرحله اساسی به عنوان کوآنزیم سبب تولید موادمیانی سنتز کلروفیل می شود و با افزایش میزان کربن‌گیری مقدار ماده خشک تولیدی گیاه نیز افزایش می‌یابد (۱۷).

آهن در بیوسنتز هورمونهای اتیلن، اسید جیبرلیک و جاسمونیک اسید نقش دارد، همچنین در انجام فرآیند تنفس میتوکندری، جذب نیتروژن، مهار گونه‌های اکسیژن فعال، دفاع در برابر پاتوژن‌ها و محافظت اسمولیتی اثرگذار است. آهن در ساختار بسیاری از ترکیبات همانند آنزیم‌های آکونیتاز (تنظیم کننده‌های پروتئین)، آنزیم سیتوکروم P_{450} (کنترل و مهار رادیکال‌های آزاد) و پروتئین‌های آهن‌دار (آمیلوپلاست و ایتوپلاست‌ها) وجود دارد. همچنین آهن در بارگیری فلوئم، انتقال، ذخیره و همو ستازی داخل سلول و کمپلکس‌های انتقال الکترون شرکت می‌کند. آهن اغلب در گیاهان به فرم Fe^{3+} اکسید شده و توسط سیترات یا مالات منتقل می‌شود (۱۶). آهن با افزایش ظرفیت و فرایند فتو سنتزی باعث ساخته شدن اندام‌های زایشی بیشتر و دریافت مواد پرورده بیشتری می‌شود. درنتیجه ضمن افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد و همچنین باعث بهبود تجمع آ سیمیلات در بذرها شده که نتیجه آن تولید دانه‌های سنگین‌تر می‌با شد. آهن با افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به اصلی‌ترین مخازن گیاه یعنی دانه‌ها موجب افزایش وزن هزاردانه می‌شود (۳). آهن جزء متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است و این آنزیم در بیوسنتز آلفا – آمینولینووولنیک که پیش‌ساز کلروفیل است اثر دارد.

عنصر روی در بسیاری از مسیرهای مهم بیوشیمیایی مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات‌ها (شامل فتوسنتز و تبدیل قندها به نشاسته)، نیتروژن، لیپید و نوکلئیک اسید، متابولیسم پروتئین، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده و سنتز پروتئین لوله گرده به هنگام گرده افشانی (افزایش عمل گرده افشانی) و تشکیل بیشتر دانه شرکت می‌کند و همچنین در حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی و مقاومت آن‌ها به عوامل بیماری‌زا موثر است. به علاوه این فلز به همراه مس بخش اصلی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را به عنوان خورنده رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهد. این عنصر موجب افزایش فعالیت‌های نیترات ریداکتاز و دیگر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت می‌شود. علاوه بر آن عنصر روی با افزایش جوانه‌زنی و رشد ریشه باعث افزایش هورمون رشدی ایندول استیک اسید می‌شود. آزمایشات بیوشیمیایی نشان داده که گیاه در حضور عنصر روی افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در ریشه، ساقه و برگ و همچنین فعالیت کاتالاز در برگ را به همراه دارد (۴۲). همچنین روی یکی از عناصر ضروری برای گیاه می‌باشد که باعث افزایش هدایت روزنه ای و فتوسنتز، تنظیم بیان ژن، متابولیسم بهتر پروتئین و هدایت مزوفیلی می‌شود. امروزه فعالیت‌های آنزیمی عنصر روی سبب می‌شود تا نقش و اثر عنصر روی در گیاهان مشخص شود. عنصر روی در تولید هورمون‌های رشد و همینطور تلقیح و باروری گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عنصر دارای خاصیت مشخصی بر روی ریزش برگ‌ها است و همینطور کمبود آن سبب تاخیر در بازشدن به موقع برگ‌ها می‌شود و درنهایت محدودیت در رشد گیاهان ایجاد می‌کند. روی یک عنصر محرک در گیاهان محسوب می‌شود که عناصر زاید و اضافی را کنار زده و به رشد و تقویت گیاه کمک می‌کند.

تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی در گیاهان به وسیله جریان الکترون‌ها و درون دستگاه‌های رنگدانه ای انجام می‌گیرد. این رنگدانه‌ها در کلروپلاست‌ها و درون غشاهای تیلاکوئیدی قرار گرفته اند. آهن، بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیاء است و برای سنتز کلروفیل نیز موردنیاز است. آهن به عنوان یکی از عناصر ضروری برای گیاهان نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان و سنتز کلروفیل، تیلاکوئیدها و نمو کلروپلاست دارد (۹). آهن خود جزئی از مولکول کلروفیل نیست ولی نیاز به آهن احتمالاً مربوط به نیاز عمومی به این عنصر برای سنتز اجزای کلروپلاست به ویژه پروتئین‌های انتقال الکترون است. کمبود آهن همواره موجب ازبین‌رفتن همزمان کلروفیل و تخریب ساختمان کلروپلاست می‌شود (۵). حدود ۸۰ درصد از عنصر ریزمغذی آهن در ساختار کلروپلاست گیاه شرکت می‌کند که به همین منظور آهن نقش اساسی در فتوسنتز گیاه دارد

(۴۵). علت افزایش مقدار کلروفیل به دلیل اثر نانوکلات آهن بر ساخت پیش سازهای سنتز کلروفیل است زیرا آهن جزء متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است و این آنزیم در بیوسنتز آلفا آمینولینووولنیک که پیش ساز کلروفیل است، اثر دارد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی با نانوکلات آهن با بهبود شرایط تغذیه ای، محتوای کلروفیل برگ گیاه گشنیز را افزایش داده است.

محلول‌پاشی نانو کود با در دسترس قراردادن سریع موادغذایی در طی مراحل رشد گیاه و به علت کمک به افزایش رشد رویشی، ظرفیت فتوسنتزی، توسعه پوشش گیاهی و افزایش فرآیند جذب، می‌تواند بر میزان رنگدانه‌های گیاهی نیز اثر مثبت بگذارد (۳۵ و ۳۶).کاروتنوئیدها شامل بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها، آنتی اکسیدان‌های چربی دوست با وزن مولکولی کم در کلروپلاست هستند که غشاهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند. کاروتنوئیدها گروهی از مولکول‌های بزرگ ایزوپرونوئیدی و اغلب از هیدروکربن‌ها هستند و در چربی محلول بوده و در غشای کلروپلاست یا پلاستیدهای تخصصی به نام کروموپلاست یافت می‌شوند. کاروتنوئیدها علاوه بر نقش ساختمانی و جذب نور می توانند به صورت مستقیم اکسیژن منفرد را غیرفعال کنند و یا از طریق فرونشاندن کلروفیل برانگیخته شده به صورت مستقیم از تشکیل اکسیژن منفرد جلوگیری کنند(۳۸). بدین ترتیب دستگاه فتوسنتزی را از پراکسیداسیون لیپیدی محافظت می‌کنند. ازآنجایی‌که آهن سبب حفظ ساختمان کلروپلاست می‌گردد، وجود آهن باعث افزایش ساخت کاروتنوئید در گیاهان می‌شود (۲۶). نتایج این پژوهش با نتایج بررسی محققان روی گیاه نعناع، لوبیای قرمز(*Phaseolus vulgaris* L.) وگیاه گلرنگ مطابقت داشت (۱۱و۳۴و۴۲). علاوه بر آن، محلول‌پاشی با نانوکلات آهن میزان کلروفیل را در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) افزایش داد (۹).

بر طبق نتایج، عنصر روی بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی اثرگذار بود. میزان کلروفیل و تجمع متابولیت‌ها در اندام‌های هوایی تحت اثر عنصر روی افزایش می‌یابد. تغییر در میزان کلروفیل می‌تواند ناشی از اثر عنصر روی بر فرآیندهایی باشد که منجر به سنتز کلروفیل می‌شود (۱۹). روی همچنین نقش مهمی در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها و عملکرد آن‌ها به عنوان کوفاکتور دارد. نتایج یک تحقیق نشان داده است که عنصر روی به عنوان محلول‌پاشی زینک در ذرت باعث افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید در برگ گردید (۲۹). نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت اثر نانوکلات روی با نتایج پژوهشی روی‌گیاه نعناع (*Mentha spicata* L.) مطابقت دارد (۶).

سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار بر میزان سطح برگ در گیاه گشنیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین میزان سطح برگ در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن با میزان ۳۲۳۰ سانتی‌متر مربع حاصل شد که اختلافش با نانوکلات روی ۱/۵ و دو گرم بر لیتر معنی‌دار نبود، کمترین میزان نیز در تیمار شاهد با میزان ۲۴۷۱ سانتی مترمربع نشان داده شد (جدول ۵).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای نانوکلات آهن و روی بر برخی از ویژگی های گیاه گشنیز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سطح برگ	تعداد چتر	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه فرعی	وزن هزار دانه	تعداد بذر در چتر
بلوک	۲	۲۹۱۰۰۴*	۲/۹۳	۵۶۸/۸	۲/۸۱	۰/۷۸*	۱۸۵
تیمار	۸	۲۵۲۷۷۳	۳۱/۰۴*	۱۲۲/۸*	۳/۰۶*	۱**	۳۲۴/۹*
خطا	۱۶	۸۹۷۳۳	۱۵/۹۳	۵۷/۶۹	۲/۹۸	۰/۲۱	۱۲۵/۲
ضریب تغییرات		۱۰/۴۱	۲۱/۰۴	۸/۳۰	۱۷/۱۴	۵/۹۰	۱۹/۱۶

* و **: به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۵. نتایج مقاسیه میانگین اثر تیمارهای نانوکلات آهن و روی بر برخی از ویژگی های گیاه گشنیز

تیمار	سطح برگ (سانتی متر مربع)	تعداد چتر	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	تعداد شاخه فرعی	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد بذر در چتر
شاهد	۲۴۷۱ c	۱۴/۶۷ c	۸۲/۳۳ c	۸/۳۳ b	۶/۸۰ d	۴۴/۳۳ c
نانوکلات آهن ۰/۵(گرم در لیتر)	۲۶۷۷ bc	۱۶/۶۷ bc	۸۵ c	۹/۳۳ ab	۷ cd	۵۱/۳۳ bc
نانوکلات آهن یک(گرم در لیتر)	۲۶۸۳ bc	۱۹ abc	۸۹ bc	۱۰ ab	۷/۷۷ abc	۵۲/۶۷ bc
نانوکلات آهن ۱/۵(گرم در لیتر)	۳۱۵۴ ab	۱۹/۶۷ abc	۹۲/۶۷ abc	۱۱ ab	۸ ab	۶۵ ab
نانوکلات آهن دو(گرم در لیتر)	۳۲۳۰ a	۲۵/۳۳ a	۹۹/۶۷ ab	۱۱/۳۳ a	۸/۳۰ a	۷۲/۶۷ a
نانوکلات روی ۰/۵(گرم در لیتر)	۲۶۸۳ bc	۱۶/۳۳ bc	۸۸/۶۷ bc	۹/۳۳ ab	۷/۲۳ bcd	۵۱/۳۳ bc
نانوکلات روی یک(گرم در لیتر)	۲۶۹۲ bc	۱۷/۶۷ bc	۹۱/۶۷ abc	۱۰ ab	۷/۹۷ ab	۵۱/۳۳ bc
نانوکلات روی ۱/۵(گرم در لیتر)	۳۱۴۸ ab	۱۹/۳۳ abc	۹۲/۶۷ abc	۱۰ ab	۷/۹۷ ab	۶۴/۳۳ ab
نانوکلات روی دو(گرم در لیتر)	۳۱۶۸ ab	۲۲ ab	۱۰۲/۳۳ a	۱۱/۳۳ a	۸/۴۳ a	۷۲/۶۷ a
LSD	۵۱۹	۶/۹۱	۱۳/۱۵	۲/۹۸	۰/۷۹	۱۹/۳۷

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف متفاوت هستند، در سطح پنج درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌دار دارند.

کمبود آهن یک تنش غیرزیستی محسوب می‌شود که بر روی بسیاری از گیاهان در مناطق جهان اثر می‌گذارد. این تنش‌ها اغلب در گیاهانی که در خاک‌های قلیایی و یا آهکی رشد می‌کنند، مشاهده می‌شود (۲۸). شاخص سطح برگ تحت اثر نانوکلات آهن و روی افزایش یافت و این امر، منجر به استفاده بهینه از نور دریافتی شد. شاخص سطح برگ فاکتور اصلی تعیین کننده نفوذ نهایی نور در گیاه می‌باشد که بر فتوسنتز، تعرق و تجمع ماده

خشک اثر دارد. اگر یک گیاه بخواهد از انرژی نور خورشید استفاده کارآمد کند، باید بتواند حداکثر تشعشع نور خورشید را توسط بافت‌های سبز جذب نماید. با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع نیز بیشتر می‌شود. نانوکلات آهن با غلظت ۱/۵ و دو گرم بر لیتر باعث افزایش شاخص سطح برگ گردید که این عکس العمل نقش آهن در افزایش میزان کلروفیل را نشان می‌دهد که به دنبال آن فتوسنتز گیاه افزایش یافته است (۷). همچنین مصرف عنصر روی میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد و سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش سطح برگ و عملکرد می‌گردد (۲۵). نتایج حاصل از این پژوهش در راستای نتایج به دست آمده روی گیاه نعنا (*Mentha qravensis* L.) می‌باشد (۲۲).

تعداد چتر، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه فرعی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار بر تعداد چتر در گیاه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین تعداد چتر در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن با میزان ۲۵/۳۳ عدد حاصل‌شد که با تیمارهای دو و ۱/۵ گرم بر لیتر نانوکلات روی و ۱/۵ و یک گرم بر لیتر نانوکلات آهن تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداد، کمترین میزان نیز در تیمار شاهد با میزان ۱۴/۶۷ عدد نشان داده شد (جدول ۵). بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار دو گرم بر لیتر نانوکلات روی با میزان ۱۰۲/۳۳ سانتی‌متر حاصل شد که با تیمارهای ۱/۵ و یک گرم بر لیتر نانوکلات روی و دو و ۱/۵ گرم بر لیتر نانوکلات آهن تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد، کمترین میزان نیز در تیمارهای شاهد و ۰/۵ گرم نانوکلات آهن به ترتیب با میزان ۸۲/۳۳ و ۸۵ سانتی‌متر نشان داده شد (جدول ۵).

بیشترین تعداد شاخه فرعی گیاه در تیمارهای دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن و روی با میزان ۱۱/۳۳ عدد حاصل شد که به‌طور معنی‌داری برتر از شاهد بودند ولی سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند، کمترین میزان نیز در تیمار شاهد با میزان ۸/۳۳ عدد نشان داده شد (جدول ۵). همانطور که اشاره شد، افزایش رشد رویشی با کاربرد منابع آهن ارتباط دارد. یکی از نقش‌های مهم آهن شرکت در ساختار میتوکندری است. در صورت کمبود آهن، در فعالیت میتوکندری اختلال ایجاد می‌شود و این اختلال سبب کاهش تولید ATP و در نهایت انرژی می‌شود و همه این عوامل موجب کاهش رشد و عملکرد می‌گردد. از دیگر نقش‌های آهن که سبب افزایش رشد رویشی می‌شود، تثبیت نیتروژن است (۲۳). علاوه بر آن، فراهمی عناصرغذایی از طریق اثر بر روی فرآیندهای رشد گیاه می تواند موجب افزایش عملکرد گردد (۲). بهبود عملکرد توسط نانو کود ناشی از کارایی عناصرغذایی با ساختار نانو در رسانش و فراهمی بهینه عناصر مغذی در فرآیندهای فیزیولوژیکی می‌باشد. احتمالاً با فعال‌شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، کلروفیل‌سازی افزایش یافته که در پی آن بهبود فرآیند فتوسنتز اتفاق افتاد و در نهایت منجر به افزایش ارتفاع گیاه درتیمار با نانو کود گردیده است (۱). اثر نانوکودها بر ویژگی‌های رشدی گیاه می‌تواند به علت کوچک‌بودن ذرات نانو و عبور آسان آن‌ها از دیواره سلول‌های گیاهی باشد و سپس به بافت‌های مختلف منتقل شده و با توجه به اینکه کود نانو کامل و حاوی عناصر میکرو و ماکرو می‌باشد می‌تواند مؤثر واقع شود (۳۹). با توجه به نقش مثبت آهن در مسیر بیوسنتز کلروفیل و عملکرد فتوسیستم‌های نوری، به نظر می‌رسد که مصرف آهن با افزایش غلظت کلروفیل موجب فراهمی مواد پرورده برای تشکیل تعداد بیشتر در شاخه‌های جانبی از طریق دوام فتوسنتز می‌گردد (۳۰).

وزن هزاردانه و تعداد بذر در چتر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه و در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد بذر در چتر معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه در تیمارهای دو گرم بر لیتر نانوکلات روی و دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن به ترتیب با میزان ۸/۴۳ و ۸/۳۰ گرم حاصل شد که با تیمارهای ۱/۵ و یک گرم بر لیتر نانوکلات آهن و روی در سطح پنج درصد تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداد. کمترین میزان نیز در تیمار شاهد با میزان ۶/۸۰ گرم نشان داده شد (جدول ۵). بیشترین تعداد بذر در چتر در تیمارهای دو گرم بر لیتر نانوکلات روی و دو گرم بر لیتر نانوکلات آهن با میزان ۷۲/۶۷ عدد حاصل شد که با غلظت‌های ۱/۵ گرم بر لیتر نانوکلات آهن و روی تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداد، کمترین میزان نیز در تیمار شاهد با میزان ۴۴/۳۳ عدد نشان داده شد (جدول ۵).

به نظر می‌رسد که با محلول‌پاشی نانو کلات آهن به واسطه افزایش رشد سبزینه ای، بهبود کلروفیل‌سازی گیاه، افزایش ظرفیت و فرآیند فتوسنتزی، اندام‌های زایشی بیشتری ساخته شده و سهم دریافتی مواد پرورده آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه ضمن افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز افزوده می‌شود (۳۵). همچنین به علت فراهمی مطلوب ترکیبی از عناصرغذایی ریزمغذی و اصلی در مراحل زایشی گشنیز، این فراهمی مطلوب در نهایت باعث بهبود تجمع آسیمیلات در بذرها شد که نتیجه آن تولید دانه های سنگین تر گشنیز بود (۲۱). کاربرد آهن از طریق افزایش فتوسنتز و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به اصلی‌ترین مخازن یعنی دانه‌ها موجب افزایش وزن هزار دانه گشنیز گردید (۳). همچنین عنصر روی در سنتز پروتئین لوله گرده به هنگام گرده افشانی شرکت می‌کند که این موضوع به افزایش عمل گرده افشانی و تشکیل بیشتر دانه می‌انجامد (۴۴). افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی ممکن است به دلیل نقش این عنصر در افزایش تولید تنظیم کننده‌های رشد مانند ایندول استیک اسید، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن باشد که سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود. علاوه بر آن فراهم بودن عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در مراحل بعدی رشد سبب افزایش تجمع آسیمیلات در دانه و سنگین‌ترشدن دانه می‌شود (۴۳). در واقع بهبود اجزای عملکرد در اثر کاربرد روی می‌تواند به این دلیل باشد که روی اثر مطلوبی بر فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها دارد و سبب انتقال بهتر مواد فتوسنتزی می‌شود (۳۳). از طرف‌دیگر شکل‌گیری اندام‌های جنسی نر و ماده و فرآیند گرده افشانی بر اثر کمبود روی، مختل می‌شود و به کاهش عملکرد در اثر کاهش تولید ایندول استیک اسید می انجامد (۴). از دیگر مکانیسم‌های نانوذرات این است که مواد نانو مخصوصاً نانو ذرات می‌توانند به مولکول‌های فعال بیولوژیکی مختلف متصل شوند که این اتصال می‌تواند به‌طورمستقیم به مکان‌های خاص درون بیومولکول‌ها شامل پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و ساختارهای زیرسلولی صورت بگیرد و بدین طریق نانو ذرات از غشاهای سلولی عبور می‌کنند (۳۱). بنابراین ترکیبات نانو آهن به علت کوچک بودن و حلالیت بالا سریع‌تر توسط گیاهان جذب می‌شوند و کمبود موادغذایی و نیازهای گیاهان را رفع می‌کنند. بنابراین در کاربرد این مواد معمولاً افزایش رشد گیاهان رخ می‌دهد (۱۲). محققین مطرح نمودند که کود نانوآهن به دلیل ثبات بالای آن و آزادسازی تدریجی آهن در یک محدوده وسیع pH (۳ تا ۱۱) می‌تواند به‌عنوان یک منبع غنی و قابل اعتماد از آهن دوظرفیتی برای گیاه در نظرگرفته‌شود، آنها اظهارداشتند که با کاربرد آهن و روی وزن خشک برگ و ساقه آفتابگردان بهبود یافت که این بهبود در اندام‌های رویشی با بهبود در عملکرد دانه همراه بود، که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (۱۴).کلات آهن باعث افزایش عملکرد و محتوای فتوسنتز در پسته شده است (۵).

نتیجه‌گیری کلی

به طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش مؤید آن است که محلول‌پاشی تیمارهای نانوکلات آهن و نانوکلات روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه گشنیز اثرگذار بود و بیشترین غلظت اثرگذار در دو گرم‌بر لیتر نانوکلات آهن و روی نشان داده شد. نانوکلات آهن و روی میزان کلروفیل را با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش داد و موجب بهبود ویژگی‌های رویشی و زایشی گیاه گشنیز گردید. با توجه به نتایج و با در نظر گرفتن اثر مثبت تیمارهای مورد بررسی، می‌توان کاربرد نانوکلات آهن و روی را در برنامه‌های تغذیه ای گیاه گشنیز پیشنهاد نمود. محققان زیادی اثر مثبت در رشد گیاهان مختلف با استفاده از این نانوکلات‌ها را گزارش کرده‌اند و همچنین نمی‌توان مزایا و عملکرد مثبت آن‌ها را در کاهش مصرف کودهای مرسوم نادیده گرفت ولی به دلیل جدید بودن مبحث نانوکلات‌ها نیاز به تحقیقات بیشتر برای اطمینان از چگونگی اثر آن‌ها بر محیط‌زیست و در نهایت گیاهان و انسان است. به همین‌دلیل با توجه به اثر مثبت نانوکلات‌ها در این پژوهش استفاده از آن‌ها با احتیاط پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

۱-**بقایی ن، ملکی فراهانی س.** ۱۳۹۲ . ارزیابی مقایسه کودکلات آهن با بنیان‌های نانو و میکرو بر عملکرد کمی و تخصیص مواد فتوسنتزی زعفران زراعی (*Crocus sativus* L.) نشریه پژوهش‌های زعفران، ۲ : ۱۵۶ – ۱۶۹.

۲- **بهدانی م،کوچکی ا،نصیری م،رضوانی پ.**۱۳۸۴. ارزیابی روابط کمی بین عملکرد زعفران و تغذیه(در مزرعه آزمایشی). نشریه تحقیقات محصولات زراعی ایران، ۳ : ۱-۱۴ .

۳-**بیاتی ف، آینه بند ا، فاتح ا.** ۱۳۹۳ . بررسی مقادیر و زمان‌های کاربرد کود آهن نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۴ : ۸۱۲ - ۸۰۵ .

۴- **تیرانی م ،حق جو م ، اسماعیلی ع.** ۱۳۹۸. واکنش گیاهان تنباکوی کشت هیدروپونیک به نانوذرات اکسید روی. زیست شناسی گیاهی عملکردی. ۴۶: ۳۶۰-۳۷۵.

۵- **روستا ح، جعفری ه.** ۱۳۹۶ . اثر منابع مختلف آهن بر پارامترهای رویشی و فیزیولوژیک دو رقم تجاری گیاه کاهو درآبکشت. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۱ : ۲۱ - ۳۲ .

۶- **زارع ده آبادی س، اسرار ز، مهربانی م.** ۱۳۸۷. اثر روی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نعناع (*Mentha spicata* L.). نشریه زیست شناسی گیاهی ایران. ۲۰: ۲۳۰-۲۴۱.

۷- **سلیمانی ع، فیروزی م.** ۱۳۹۰. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی رشد و عملکرد زیست توده ذرت علوفه ای. نشریه تحقیقات زراعی ایران. ۹: ۳۴۷-۳۴۰.

۸- **فتاحی سیاه کمری س، آروی ح، عزیزی م.** ۱۳۹۹. اثر کودهای نانوکلات (آهن و روی) و کودهای نیتروژن (بیولوژیکی و شیمیایی) بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد اسانس دو توده محلی گیاه دارویی (*Ocimum basillicum* L.) نشریه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی، ۱: ۱۱۸-۱۰۶.

۹- **فتحی امیرخیز ک، امینی دهقی م، حشمتی س**. ۱۳۹۳ . اثر روش‌های مصرف کلات آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد،ترکیب اسیدهای چرب و میزان روغن دانه گلرنگ بهاره رقم گلدشت در شرایط کم آبیاری. مجله علوم زراعی ایران، ۴ : ۳۰۸ – ۳۲۱.

۱۰- **قاسمیان و، قلاوندع، سروش زاده ع، پیرزاد ا**. ۱۳۸۹. اثر آهن، روی و منگنز بر کیفیت و کمیت دانه سویا. نشریه گیاه شناسی. ۲: ۷۳-۷۹.

۱۱- **قربانپور م**. ۱۳۹۴. ترکیبات عمده اسانس، محتوای فنول و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه مریم گلی در پاسخ به نانو دی اکسید تیتانیوم. نشریه فیزیولوژی گیاهی هند. ۲۰: ۲۴۹ - ۵۶.

۱۲- **محمدی پور ر، صداقت حور س،محبوب خمامی ع**. ۱۳۹۲. اثر کاربرد کود آهن به دو روش محلول پاشی و خاکی بر ویژگی‌های رشدی اسپاتی فیلوم. مجله اروپایی زیست شناسی تجربی. ۳: ۲۳۲-۲۴۰.

۱۳- **محمودی سورستانی م، مقدم ع، فرخیان فیروزی ع**. ۱۳۹۵. بررسی اثر محلول‌پاشی آهن بر برخی پارامترهای بیوشیمیایی و فتوگرافیک ریحان مقدس *(Ocimum sanctum* L.*)*. نشریه علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۳: ۵۵۲-۵۴۳.

۱۴- **مقدم ع، وطنی ح، بقایی ن،کشاورز ن**. ۱۳۹۱. اثر سطوح مختلف نانوکلات‌های کود آهن بر رشد و ویژگی‌های عملکرد دو رقم اسفناج *(Spinacia oleracea* L.*)*. ورامین ۸۸ و ویروفلای. مجله پژوهشی علوم کاربردی، مهندسی و فناوری. ۴: ۴۸۱۳-۴۸۱۸.

۱۵- **نصیری ی، نجفی ن**. ۱۳۹۴. اثر کاربرد محلول‌پاشی و خاکی آهن و روی بر گلدهی و اسانس بابونه در شرایط گلخانه.کشاورزی اسلوونیکا. ۱۰۵-۱:۳۳-۴۱.

16. Afify, A.M., El-Beltagi, H.S., Abd El-Salam, S.M., and A.A. Omran. 2011. Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. PLoS ONE. 6: e25512.

17. Amaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S., and N. Karapetsas. 2002. Leaf nutrient levels of strawberries *(cv. Tudla*) in relation to crop yield. Acta Horticulturae. 567: 447 - 50.

18. Arif, M., Asifshehzad, M., Bashir, F., Tasneem, M., Yasin, G. and M. Iqbal. 2012. Boron, zinc and microtone effects on growth, chlorophyll contents and yield attributes in rice *(Oryza sativa* L.*)* cultivars. African Journal of Biotechnology. 11: 10851-10858.

19. Astafurova, T., Zotikova, A., Morgalev, Yu., Verkhoturova, G., Postovalova, V., Kulizhskiy, S., and S. Mikhailova. 2015. Effect of platinum nanoparticles on morphological parameters of spring wheat seedlings in a substrate-plant system.
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 98, 3rd International Youth Conference on Interdisciplinary Problems of Nanotechnology, Biomedicine and Nanotoxicology (Nanobiotech 2015) 21–22 May 2015, Tambov, Russia(IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 98 012004.)

20. Baybordi, A., and G. Mamedov. 2010. Evaluation of application methodes efficiency of zinc and iron for Canola *(Brssica napus* L.*)*. Not Science Biology. 2: 94-103.

21. Borlina, M.N., Bovi, O.M., Granja, N.P. and Q.A. Carmello. 2001. Essential oil production and quality of (*Mentha qravensis* L.) in nutrient solution. Acta Horticulture. 548: 181-188.
22. Borlotti, A., Vigani, G., and G. Zocchi. 2012. Iron deficiency affects nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.*)* plants. BMC Plant Biology, 12: 189-195.
23. Chinnamuthu, C.R., and P. Murugesa Boopathi. 2009. Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal. 96: 17-31.
24. Dewal, G.S., and R.G. Pareek. 2004. Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.*)* Indian Journal of Agronomy. 49: 160-162.
25. Eichert, T., Peguero-Pina, J.J., Gil-Pelegrin, E., Heredia, A., and V. Fernandez. 2010. Effects of iron chlorosis and iron resupply on leaf xylem architecture, water relations, gas exchange and stomatal performance of field-grown peach (*Prunus persica*). Plant Physiology. 138: 48-59.
26. Elemike, E.E., Uzoh, I.M., Onwudiwe, D.C. and O.O. Babalola. 2019. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. Applied Sciences. 9: 499.
27. Fernandez, V., Eichert, T., Del Rio, V., Lopez- Casado, G., Heredia-Guerrero, J.A., A., Abadía. 2008. Leaf structural changes associated with iron deficiency chlorosis in field-grown pear and peach: physiological implications. Plant and Soil. 311: 161–172.
28. Ghatavi, R.F., Jackson, B.C., Kiniry J.R., and G.F. Arkin. 2012. Water deficit timing effects on yield components in maize. Agronomy Journal. 81: 61-65.
29. H. Hokmabadi, A. Haidarinezhad , R. Barfeie M. H. Nazaran M. Ashtiani N. Aboutalebi. 2006. A New Iron Chelate Introduction and Their Effects on Photosynthesis Activity, Chlorophyll Content and Nutrients Uptake of Pistachio (*Pistacia vera* L.). 27th International Horticultural Congress & Exhibition (IHC2006) August 2006, Seoul Korea, Book of Abstracts.
30. Kolencík, M., Ernst, D., Komár, M., Urík, M., Šebesta, M., Dobrocka, E., Cerný, I., Illa, R., Kanike, R., and Y. Qian. 2019. Effect of foliar spray application of zinc oxide nanoparticles on quantitative, nutritional, and physiological parameters of foxtail millet *(Setaria italica* L.*)* under field conditions. Nanomaterials. 9: 1559.
31. Krystofova, O., Sochor, J., Zitka, O., Babula, P., Kudrle, V., Adam, V., and R. Kizek. 2013. Effect of Magnetic Nanoparticles on Tobacco BY-2 Cell Suspension Culture. International Journal of Environmental Research and Public Health. 10: 47-71.
32. Kutman, U.B., Yildiz, B., and I. Cakmak. 2011. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. Plant Soil. 342: 149–164.

33. Laware, S.L., and S. Raskar. 2014. Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 3: 874–881.
34. Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H.H., and X. Deng. 2000. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation.
Scientia Horticulturae. 83: 43 - 50.
35. Monica, R.C., and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 62: 161-165.
36. Monreal, C.M. 2010. Nanofertilizers for Increased N and P Use Efficiencies by Crops, In Summary of information currently provided MRI concerning applications for round 5 of the Ontario Research Fund- Research Excellence program.
pp: 12-13.
37. Msaada, K., Hosni, K., Ben Taarit, M., Hammami, M., and B. Marzouk. 2009. Effects of growing region and maturity stages on oil yield and fatty acid composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.*)* fruit. Scientia Horticulturae. 120: 525-531.

38. Munne-Bosch, S., and J. Penuelas. 2003. Photoand antioxidant protection during summer leaf senescence in (*Pistscia lentiscus* L.) grown under Mediterranean field conditions. Annals of Botany. 92: 385-391.

39. Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., and D. Sakthi Kumar. 2010. Review: Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science. 179: 154-163.
40. Nhan le, V., Ma, C., Rui, Y., Liu, S., Li, X., and B., Xing. 2015. Phytotoxic mechanism of nanoparticles: destruction of chloroplasts and vascular bundles and alteration of nutrient absorption. Scientific Reports. 5: 11618.
41. Novais, S.V., Novais, R.F., Alvarez, V.H., Villani, E.M.A., and M.D.O. Zenero. 2016. Phosphorus-Zinc interaction and iron and manganese uptake in the growth and nutrition of Phalaenopsis (*Orchidaceae).* Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 40: e0160054.
42. Pande, P., Chand, S., Pandey, A., and D.D. Patra. 2011. Effect of sole and conjoint application of iron and manganese on herb yield, nutrient uptake, oil quality vis-à-vis their optimal level in spearmint (*Mentha spicata* L.).Indian Journal of Natural Products and Resources. 2: 242-249.
43. Pérez Velasco, E.A., Betancourt Galindo, R., Valdez Aguilar, L.A., González Fuentes, J.A., Puente Urbina, B.A., Lozano Morales, S.A., and S.S. Valdés. 2020. Effects of the morphology, surface modification and application methods of Zno-NPS on the growth and biomass of tomato plants. Molecules. 25:1282.
44. Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, Y., Sreenivasulu, P., Latha, V., Munaswamy, K., Raja Reddy, T.S., Sreeprasad, P., Sajanlal, R.,and T. Pradeep. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35: 905-927.

45. Robert, H., and R Rulf. 2009. physiological functions of mineral micro nutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Plant Biology. 12: 259-266.
46. Thakur, S., Thakur, T., and R. Kumar. 2018. Bio-Nanotechnology and its role in agriculture and food industry. Journal of Molecular and Genetic Medicine. 12: 1–5.
47. Wangensteen, H., Samuelsen, A.B., and K.E. Malterud. 2004. Antioxidant activity in extracts from coriander. Food Chemistry. 88: 293–297.
48. Xiong, T., Dumat, C., Dappe, V., Vezin, H., Schreck, E., Shahid, M., Pierart, A., and S. Sobanska. 2017. Copper oxide nanoparticle foliar uptake, phytotoxicity, and consequences for sustainable urban agriculture. Environmental Science & Technology.51: 5242–5251.
49. Yassen, A., Abdallah, E., Gaballah, M., and S. Zaghloul. 2017. Role of Silicon dioxide nano fertilizer in mitigating salt stress on growth, yield and chemical composition of Cucumber (*Cucumis sativus* L.*)*. International Journal Agricultural Research. 22: 130–135.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 12, Issue 1, Spring and Summer 2022

Morphophysiological Response of Coriander (*Coriandrum sativum L.)* to Foliar Application of Iron Nano Chelate and Zinc Nano Chelate

Sadaf Farahani[1], Hamid Reza Javanmanrd[2*], Hossein Ali Asadi-Gharneh[3]

1-Sadaf Farahani, master student of agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2*-Hamidreza Javanmard , Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

3 -Hossein Ali Asadi-Gharneh, Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Corresponding Author; Email: **hamidjavanmard@yahoo.com**

(Received: 15 June 2022; Accepted: 25 June 2022)

Abstract

The present study was conducted to evaluate the effect of foliar application of iron and zinc nanochlate treatments including control (foliar application with distilled water), concentrations of iron and zinc nanocholate (0.5, 1, 1.5 and 2 g/l) on morphological characteristics of coriander in 2019-2020 performed in a randomized complete block design with 9 treatments and 3 replications in experimental plots. The results showed that the highest amount of chlorophyll a, total and carotenoids was obtained in the treatment of 2 g/l iron nanoclate and the highest amount of chlorophyll b was obtained in the treatments of 2 g/l iron and zinc nanoclate. The highest leaf area was obtained in the treatment of 2 g/l iron nanoclate with an amount of 3230 cm^2. The highest number of umbel was obtained in the treatment of 2 g/l iron nanoclate with 25.33. The highest plant height was obtained in the treatment of 2 g/l zinc nanoclate with a rate of 102.33 cm. The highest 1000-seed weight , highest number of seeds per umbel and the highest number of sub-branches of the plant(with the amount of 11.33) was obtained in the treatments of 2 g/l zinc and iron nanoclate. In general, the results of this study confirm that foliar application of iron and zinc nanoclate treatments had an effect on the growth properties of coriander, so according to the results and considering the positive effect of the studied treatments, it can be Suggested application of iron and zinc nanoclates in coriander nutritional programs.

Keyword(s): Leaf area, Medicinal plants, Nano fertilizers,Photosynthetic pigments, Seed weight-1000