تأثیر محلول پاشی نانوکلات آهن بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و شیمیایی گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)

سعید یوسف‌زاده[1*]، حسنعلی نقدی‌بادی[2]، ناصر صباغ‌نیا[3]، محسن جانمحمدی[3]

۱-استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲-مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی، کرج، ایران
۳-دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، ایران
* آدرس مکاتبه: استان آذربایجان شرقی، دانشگاه پیام‌نور مرکز مرند، گروه کشاورزی
تلفن: ۲۲۳۱۵۵۷ (۰۴۱۴) داخلی: ۲۵۴
پست الکترونیک: s_yousefzadeh@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۰ **تاریخ تصویب:** ۹۵/۴/۸

چکیده

مقدمه: ماده غذایی آهن، یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف است که بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان دارویی تأثیر دارد.

هدف: در این مطالعه، تأثیر نانو کلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و شروع گلدهی بر صفات مرفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی بادرشبو (***Dracocephalum moldavica* L.**) مورد مطالعه قرار گرفت.

روش بررسی: به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر عملکرد اسانس و رنگدانه‌های فتوسنتزی بادرشبو آزمایشی به صورت طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور مرند اجرا شد. تیمارها شامل شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن در مرحله ساقه‌دهی و در مرحله گلدهی بودند.

نتایج: محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی بر اکثر صفات مورد مطالعه تأثیر منفی داشت. بیشترین و کمترین درصد و عملکرد اسانس به ترتیب از محلول‌پاشی تیمارهای ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن به دست آمد. بیشترین و کمترین میزان کلروفیل به ترتیب از کاربرد تیمار ۱ گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله گلدهی و تیمار شاهد به دست آمد. بیشترین و کمترین مقدار فلاونوئید و آنتوسیانین در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله گلدهی و تیمار شاهد حاصل شد.

نتیجه‌گیری: کاربرد مقادیر ۲ گرم در لیتر نانو کود آهن تأثیر منفی بر اکثر صفات مورد مطالعه داشت. با محلول‌پاشی مقادیر مناسب نانو کلات آهن (۱/۵ گرم در لیتر) علاوه بر بهبود خصوصیات کمی و کیفی در گیاه بادرشبو می‌توان به سمت کشاورزی پایدار حرکت کرد.

گل‌واژگان: ***Dracocephalum moldavica***، آنتوسیانین، اسانس، فلاونوئید، کلروفیل، نانو کلات آهن

مقدمه

آهن از جمله عناصر ضروری برای رشد و تولیدمثل گیاهان بوده و بنابراین برای بقا گیاهان لازم است. این عنصر در فرایند فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و کلروفیل در گیاهان نقش دارد. کاهش در میزان کلروفیل برگ‌های جوان به دلیل نقش آهن در ساخت کلروفیل، آشکارترین نشانه کمبود آهن است که به صورت زردی بین رگبرگی در برگ‌های جوان نمایان می‌شود [۱]. نقش این عنصر در تثبیت ازت و فعالیت برخی از آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز به خوبی مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. با این وجود، افزایش مقدار این عنصر می‌تواند به ایجاد اکسیژن فعال و در نتیجه استرس اکسیداتیو منجر شود [۳]. هر چند وجود برخی فلزات از جمله آهن در خاک برای رشد طبیعی گیاهان ضروری است، غلظت‌های بالای این عناصر از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد سمی و القا تنش اکسیداتیو می‌تواند عاملی برای بازدارندگی رشد و ایجاد علائم سمیت می‌شود [۳]. بنابرین تعیین میزان مطلوب آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. ترکیبات نانو از منابعی هستند که توانایی جایگزینی کودهای شیمیایی را دارا می‌باشند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی استفاده از ترکیبات نانو در تغذیه گیاه است [۴]. استفاده از ترکیبات نانو با خصوصیات مطلوب مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری بالا و رهایش کنترل شده را دارند، سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شوند [۵]. جذب و انتقال ترکیبات نانو از طریق برگ به سهولت انجام می‌شود [۶]. با به کارگیری ترکیبات نانو به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند. استفاده از ترکیبات نانو منجر به افزایش کارایی مصرفی عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود [۵].

بخش وسیعی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران به دلیل آهکی بودن و pH قلیایی، دچار کمبود عناصر ریز مغذی، بویژه آهن هستند. محلول‌پاشی یا تغذیه برگی یکی از راه‌های مؤثر در تأمین عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاهان است که علاوه بر کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک باعث کاهش آلودگی آب و خاک می‌شود [۷]. مطالعات انجام شده در مورد تأثیر کاربرد ترکیبات نانو بر خصوصیات کیفی گیاه دارویی بادرشبو از جمله متابولیت‌های ثانویه و رنگدانه‌های فتوسنتزی بسیار اندک می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده کاربرد کود آهن می‌تواند بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه مثل عملکرد ماده خشک، درصد و اسانس، درصد عناصر در اندام‌های هوایی و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی مؤثر باشد. در این راستا مطالعات در نعنا فلفلی نشان داد محلول‌پاشی آهن در مقایسه با تیمار شاهد، عملکرد اسانس را به طور معنی‌داری افزایش داد [۸]. در بررسی دیگری روی گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare*) گزارش شده است که افزایش آهن خاک تا حد ۱۱/۵ میلی‌گرم در لیتر، سبب کاهش محتوای اسانس گیاه شد [۹]. محلول‌پاشی با نانو کلات آهن، میزان کلروفیل را در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis*) افزایش داد ولی کاربرد مقادیر بالاتر باعث کاهش میزان کلروفیل شد [۱۰]. محلول‌پاشی و مصرف خاکی کلات آهن میزان آنتوسیانین برگ گیاه گلرنگ را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد [۱۱]. در پژوهش دیگر در گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis*) کاربرد نانو دی‌اکسید تیتانیوم در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری میزان فلاونوئید کل را افزایش داد [۱۲]. همچنین کاربرد نانو نقره در گیاه شمعدانی عطری (*Pelargonium graveolens*) میزان اسانس، کلروفیل و کارتنوئید را افزایش داد [۱۳].

بادرشبو با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. گیاهی است علفی و یکساله از تیره Lamiaceae که بومی آسیای مرکزی و اهلی شده در مرکز و شرق اروپاست. اسانس بادرشبی دارای خاصیت ضدمیکروبی و باکتریایی بوده و التیام‌دهنده زخم و جراحات می‌باشد. اسانس این گیاه در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و عطرسازی، کاربردهای فراوانی دارد [۱۴]. استفاده از نانو کلات آهن به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی، می‌تواند با کاهش مصرف کودهای شیمیایی گامی مؤثر به منظور دستیابی به

کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد. از اینرو این تحقیق به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد اسانس گیاه بادرشبو به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور مرند انجام شد. بر اساس آمار هواشناسی، این منطقه با ۳۵۷ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک سرد بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد است. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل N1، N2 و N3 به ترتیب محلول‌پاشی ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن در مرحله ساقه‌دهی و N4، N5 و N6 به ترتیب محلول‌پاشی ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن در مرحله اوایل گلدهی و C: تیمار شاهد یا عدم محلول‌پاشی بودند. هر کرت آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت با فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر، فاصله بین هر بوته ۱۵ سانتی‌متر و به طول سه متر بود. بذرهای گیاه با تراکم بالاتر از مطلوب در تاریخ ۱۰ خرداد به صورت شیاری و به عمق ۲- ۱ سانتی‌متر کشت شد. در مرحله ۴ برگی بوته‌های اضافی تنک شده و قوی‌ترین گیاهچه‌ها حفظ شدند. عملیات وجین علف‌های هرز نیز در سه مرحله و به صورت دستی انجام شد. بعد از کاشت یک مرحله آبیاری برای استقرار بوته‌ها صورت پذیرفت و تا زمان استقرار بوته‌ها هر سه روز یکبار آبیاری انجام شد. بعد از آن به فاصله هر شش روز یک بار آبیاری تکرار شد. در مرحله ساقه‌دهی (۳۹ و ۴۷ روز پس از کاشت) و در اوایل گلدهی (۶۷ و ۷۴ روز پس از کاشت) گیاهان با نانوکلات آهن (تهیه شده از شرکت فن‌آور سپهر پارمیس) محلول‌پاشی شدند. در تیمار شاهد نانو کلات آهن مصرف نشد و محلول‌پاشی با ۵ لیتر آب برای هر کرت انجام شد. پس از اینکه گیاهان به مرحله گلدهی کامل رسیدند، در تاریخ ۸ شهریور برداشت از مزرعه انجام شد. در این مطالعه صفاتی نظیر عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس، میزان کلروفیل (a، b، و کل)، میزان کارتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور تعیین مقدار اسانس از سرشاخه‌های جوان، از هر کرت آزمایشی یک نمونه ۵۰ گرمی تهیه و با استفاده از روش تقطیر با آب بوسیله دستگاه کلونجر اسانس‌گیری به عمل آمد. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کل همچنین کاروتنوئیدها از طریق ساییدن ۰/۲ گرم نمونه برگی در استون ۸۰ درصد و قرائت جذب نوری در طول موج‌های (به ترتیب ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر) انجام گرفت [۱۵]. میزان آنتوسیانین بر پایه میزان جذب نوری عصاره صاف شده حاصل از سایش ۰/۲ گرم از برگ در متانول اسیدی (محلول متانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) در طول موج ۵۵۰ نانومتر و استفاده از ضریب خاموشی (ε=۳۳۰۰۰ mol-2 cm-1) انجام شد [۱۶]. میزان فلاونوئیدها نیز بر مبنای میزان جذب نوری عصاره صاف شده حاصل از سایش ۰/۲ گرم از برگ در اتانول اسیدی (محلول اتانول و اسید استیک به نسبت ۹۹ به ۱) در سه طول موج ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر و استفاده از ضریب خاموشی (ε=۳۳۰۰۰ mol-2 cm-1) انجام شد [۱۶]. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه آماری SAS و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، استفاده شد.

جدول شماره ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک

بافت خاک	Ec (dSm-1)	pH	Organic carbon (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
لوم شنی	۱/۲۲	۷/۴۴	۱/۷۹	۰/۱۵	۵۷	۴۹۹	۱۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۹۲	۱۶/۲۱

نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تیمار نانو کلات آهن بر درصد و عملکرد اسانس، میزان کلروفیل a و کل، کارتنوئید و فلاونوئید ۳۰۰ در سطح ۵ درصد و کلروفیل b، آنتوسیانین و فلاونوئید ۲۷۰ و کل در سطح آماری ۱ درصد تأثیرمعنی‌داری داشت (جدول شماره ۲).

بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب از محلول‌پاشی ۱/۵ و ۲ گرم نانو کلات آهن در مرحله ساقه‌دهی (۰/۵۴ و ۰/۳۱ درصد) به دست آمد (جدول شماره ۳). استفاده از تیمارهای ۲ گرم نانو کلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی، درصد اسانس را به طور چشمگیری کاهش داد. علیرغم معنی‌دار نشدن تأثیر تیمارها بر وزن خشک کل، نتایج مقایسه میانگین نشان داد در تیمارهای N4 و N5، عملکرد ماده خشک بالاتری در مقایسه با سایر تیمارها حاصل شد (جدول شماره ۳). با استفاده از تیمارهای نانو کلات در مقادیر بالا در هر دو مرحله ساقه‌دهی و گلدهی (N3 و N6) کمترین وزن خشک کل به دست آمد (جدول شماره ۳). علاوه بر حصول حداکثر درصد اسانس در تیمارهای ۱/۵ گرم نانو کلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی (N2 و N5)، بالاترین عملکرد اسانس نیز در این تیمارها مشاهده گردید. همچنین عملکرد اسانس در تیمارهای محلول‌پاشی ۱/۵ گرم نانو کلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی بیش از دو برابر عملکرد اسانس در تیمار N3 بود (جدول شماره ۳).

جدول شماره ۲- تجزیه واریانس وزن خشک کل و صفات کیفی باردشبو تحت تأثیر نانو کلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی

		میانگین مربعات									
منابع تغییر	درجه آزادی	درصد اسانس	وزن خشک کل	عملکرد اسانس	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	آنتوسیانین	فلاونوئید ۲۷۰	فلاونوئید ۳۰۰	فلاونوئید ۳۳۰
تکرار	۲	۰/۰۰۱	۲۸۹۱۱۱/۵۲	۱۰/۸۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۱۵۸	۲۷۷/۶۵	۲۴۷۷/۶۷	۴۱۰/۵۰
تیمار	۶	۰/۰۱۹*	۲۵۸۱۲۴/۱۶ns	۳۹/۱۳*	۰/۰۳۴*	۰/۰۰۶**	۰/۰۷۰*	۰/۰۰۱*	۴/۳۵۳**	۳۶۹۵/۶۰**	۵۰۰۹/۹*	۴۰۸۲/۴۳ns
اشتباه	۱۲	۰/۰۰۶۶	۱۶۰۲۶۲/۵۱	۱۲/۸۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۳	۰/۲۸۴	۶۹۶/۸۳	۱۲۸۶/۱۱	۱۷۴۱/۷۳
ضریب تغییرات		۱۷/۷	۱۱/۹۴	۲۳/۲۰	۱۷/۸۹	۸/۸۲	۱۲/۵۴	۱۱/۷	۷/۸۷	۱۲/۶۱	۱۸/۰۷	۲۱/۵۱

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

جدول شماره ۳- مقایسه میانگین وزن خشک کل و صفات کیفی باردشبو تحت تأثیر نانو کلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی

تیمار	اسانس (%)	وزن خشک کل (Kg/ha)	عملکرد اسانس (Kg/ha)	کلروفیل a (mg g-1 f.w.)	کلروفیل b (mg g-1 f.w.)	کلروفیل کل (mg g-1 f.w.)	کارتنوئید (mg g-1 f.w.)	آنتوسیانین (mmolg-1 f.w.)	فلاونوئید ۲۷۰ (mmolg-1 f.w.)	فلاونوئید ۳۰۰ (mmolg-1 f.w.)	فلاونوئید ۳۳۰ (mmolg-1 f.w.)
C	۰/۵۰ab	۳۲۵۸c	۱۶/۳۰b	۰/۳۸۱c	۰/۲۹۲c	۰/۶۷۴d	۰/۱۲۰d	۴/۹۹۷d	۱۳۲/۸۹e	۱۱۱/۱۰c	۱۲۲/۲۲c
N_1	۰/۴۳c	۳۳۳۳/۸bc	۱۴/۷۵b	۰/۶۴۷b	۰/۴۲۴a	۱/۰۷۱b	۰/۱۶۲c	۷/۳۲۹b	۲۲۴/۸۵abc	۲۰۴/۳۴b	۲۱۶/۷۱a
N_2	۰/۵۴a	۳۴۱۴/۷bc	۱۸/۵۴a	۰/۶۰۸b	۰/۳۸۳b	۰/۹۲۲c	۰/۱۵۹c	۷/۱۳۷bc	۲۱۳/۹۴dc	۲۱۸/۶۲b	۲۱۸/۸۱a
N_3	۰/۳۱e	۲۸۶۴d	۹/۰۱d	۰/۶۲۷b	۰/۳۷۰b	۰/۹۹۸c	۰/۱۵۴c	۶/۹۹۸c	۲۳۱/۸۱ab	۲۰۵/۳۵b	۱۹۱/۸۸b
N_4	۰/۴۸bc	۳۸۱۵ /۳a	۱۸/۴۶a	۰/۷۱۸a	۰/۴۲۸a	۱/۱۴۶a	۰/۱۷۳ab	۵/۲۷۸d	۲۰۷/۶۹d	۲۰۵/۱۲b	۱۸۳/۸۹b
N_5	۰/۵۲ab	۳۵۴۲b	۱۸/۵۲a	۰/۶۶۲ab	۰/۴۱۸a	۱/۰۸۱ab	۰/۱۶۳bc	۸/۳۶۲a	۲۳۶/۰۵a	۲۴۱/۳۱a	۲۳۵/۷۷a
N_6	d۰/۳۹	c۳۲۲۹	c۱۲/۶۹	b۰/۶۲۹	a۰/۴۰۸	bc۱/۰۳۸	a۰/۱۷۴	bv/۳۲۱	bcd۲۱۷/۳۳	b۲۰۲/۸۱	b۱۸۸/۴۶

C: شاهد، N1، N2 و N3 به ترتیب محلول‌پاشی ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانو کلات در مرحله ساقه‌دهی و N4، N5 و N6 به ترتیب محلول‌پاشی ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانوکلات در مرحله اوایل گلدهی. در هر ستون میانگن‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی داری در سطح ۵ درصد ندارند.

بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a، b و کل به ترتیب در تیمارهای ۱ گرم نانو کلات در مرحله اوایل گلدهی (N4) و تیمار شاهد (C) به دست آمد. اگرچه بین تیمار ۱ و ۱/۵ گرم نانوکلات در مرحله اوایل گلدهی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول شماره ۳). بیشترین و کمترین میزان کارتنوئید در برگ‌های گیاه در تیمار N6 و تیمار شاهد کمترین مشاهده شد (جدول شماره ۳). محلول‌پاشی مقادیر مختلف نانوکلات در مراحل اوایل گل‌دهی بیشترین تأثیر را بر میزان کارتنوئید داشته است و میزان کارتنوئید برگ‌های گیاه در تیمار N6 در مقایسه با تیمار شاهد، ۴۵ درصد بیشتر بوده است. با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین، بیشترین و کمترین میزان آنتوسیانین مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱/۵ گرم نانو کلات آهن در مرحله اوایل گل‌دهی و تیمار شاهد است (جدول شماره ۳). بیشترین و کمترین میزان فلاونوئیدهای مورد مطالعه (۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰) در تیمار N5 و تیمار کنترل (C) به دست آمد. کاربرد نانوکلات آهن سبب افزایش میزان فلاونوئیدها در مقایسه با تیمار کنترل در گیاه شد. بیشترین میزان فلاونوئید ۲۷۰ پس از تیمار N5 مربوط به تیمار N3 و N1 بود. هر چند اختلاف آماری معنی‌داری بین این تیمارها مشاهده نشد (جدول شماره ۳). میزان فلاونوئیدهای ۳۰۰ و ۳۳۰ میزان فلاونوئید در تیمار N6 به طور معنی‌داری کاهش یافت.

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که درصد اسانس در تیمار ۲ گرم نانوکلات آهن در مراحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی به طور معنی‌داری کاهش یافته است که قبلاً نیز مطالعات رجب‌بیگی و همکاران در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) نشان داد، در اثر کاربرد ۲۱ پی پی ام آهن به مدت ۶ روز در مرحله رشد رویشی درصد اسانس از ۱/۶۷ به ۱/۳۷ درصد کاهش یافت [۱۷]. همچنین در بررسی دیگری روی گیاه مرزنجوش گزارش شده است که افزایش آهن خاک تا حد ۱۱/۵ میلی‌گرم در لیتر، سبب کاهش محتوای اسانس گیاه می‌شود [۹]. این محققین اذعان داشتند احتمالاً کاهش ترکیبات فنلی مورد نیاز برای سنتز اسانس، درصد اسانس را کاهش داده است.

در این تحقیق، بیشترین مقدار اسانس در تیمارهای نانو کلات آهن به میزان ۱/۵ گرم در هر دو مرحله ساقه‌دهی و گل‌دهی (N3 و N1) در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها مشاهده شد. بنابراین غلظت‌های ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات آهن در مقایسه با غلظت‌های بالاتر آن تأثیر مثبت در افزایش درصد اسانس داشته است. تحقیقات قبلی نیز نشان داده که محلول‌پاشی آهن و روی سبب افزایش درصد اسانس گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum*) در مقایسه با تیمار شاهد شده است [۱۸]. با توجه به نقش کلیدی آهن در فرایند فتوسنتز، احتمالاً کاربرد آن با بهبود فتوسنتز سبب افزایش میزان اسانس گیاه شده است. تحقیق دیگری نشان داده بیوسنتز اسانس گیاه ریحان به شدت تحت تأثیر آهن قرار گرفته است [۱۹].

در این تحقیق مشخص شد محلول‌پاشی سطوح بالا نانو کلات با تأثیر منفی بر سیستم فتوسنتزی گیاه در نهایت سبب کاهش وزن خشک گیاه شده است. این در حالی بود که با کاربرد مقادیر کمتر نانو کلات در مراحل ساقه‌دهی و گلدهی در مقایسه با تیمار کنترل وزن خشک کل بیشتری حاصل شد. در این راستا محققین گزارش کردند افزایش نامتعادل عناصر ریز مغذی مثل آهن و روی در گیاه دارویی انیسون، سبب کاهش عملکرد بیولوژیک شده است [۱۸]. با توجه به نقش آهن در ساختمان کلروفیل و سیستم فتوسنتزی گیاه، محلول‌پاشی نانو کلات آهن در سطوح مناسب با افزایش دسترسی گیاه به آهن موجب بهبود فتوسنتز و ماده سازی در گیاه شده و در نهایت وزن خشک گیاه را افزایش داده است. مطالعات نشان دادند محلول‌پاشی آهن روی گیاه نعنا فلفلی (*Mentha pepermint* L) در مقایسه با تیمار شاهد، سبب افزایش وزن خشک گیاه به طور معنی‌داری شده است [۲۰]. در مطالعه دیگری، بیشترین بیوماس گیاه گندم با محلول‌پاشی آهن به میزان ۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد [۲۱].

کمترین عملکرد اسانس مربوط به تیمارهای ۲ گرم نانو کلات آهن در مرحله ساقه‌دهی و اوایل مرحله گلدهی (N3 و N6) بود. البته با توجه به کم بودن درصد اسانس و وزن خشک کل در تیمارهای مذکور، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد زیرا عملکرد اسانس تحت تأثیر عملکرد ماده خشک و درصد اسانس می‌باشد.

در این راستا مطالعات قبلی نشان داده که کاربرد کلات آهن به صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی (۵ گرم در مترمربع) در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری عملکرد اسانس گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) را کاهش داده است [۲۲]. این محققین اذعان داشتند کاربرد آهن در حالت بیش بود و کمبود تأثیر ممانعت کنندگی بر افزایش عملکرد اسانس داشت و بین مرحل ساقه‌دهی و اوایل گلدهی اعمال محلول‌پاشی با عناصر آهن و روی اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد. نتایج مشابهی بر روی گیاه (*Origanum vulgare* L.) گزارش شده است [۱۷]. در تحقیقی دیگر بر روی گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.)، محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر سولفات آهن در مقایسه با مقادیر ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر سولفات آهن، عملکرد اسانس را کاهش داد [۲۳]. بنابراین عدم محلول پاشی و و زیاد (N3 و N6) آهن تأثیر منفی بر تولید کلروفیل و در نهایت فتوسنتز داشته باشند. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش عملکرد اسانس در اثر کاربرد تیمارهای N2 و N5 به دلیل اثر مثبت آهن در مقادیر مطلوب آن می‌باشد. از آنجائیکه آهن بر متابولیسم گیاه با تأثیر بر فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، تنفس نوری و محتوای کلروفیل تأثیر دارد [۱] و در مطالعات نقش آهن به عنوان یک کاتالیزور در فرایند تنفس اثبات شده است، از این رو فراهمی آهن می‌تواند در تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر باشد [۲۴] به هر حال، مطالعات بر روی نعنا فلفلی و بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) نشان داده محلول‌پاشی آهن در مقایسه با تیمار شاهد، عملکرد اسانس را به طور معنی‌داری افزایش داده است [۲۵، ۲۰].

در این تحقیق، کمترین میزان کلروفیل در گیاهان در تیمار شاهد مشاهده شد. با توجه به نتایج مشخص می‌شود کاربرد نانو کلات در مقادیر ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد و بیشترین مقدار نانو کلات، اثر مطلوب‌تری بر میزان کلروفیل داشته است. محتوی کلروفیل یکی از مهم‌ترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احتمالاً علت افزایش مقدار کلروفیل به دلیل تأثیر نانو کلات کلات آهن بر ساخت پیش‌سازهای سنتز کلروفیل است، زیرا آهن جز متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است و این آنزیم در بیوسنتز آلفا- آمینو لینوولنیک (ALA) که پیش ساز کلروفیل است تأثیر دارد [۱]. در مطالعه دیگری روی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis*) با افزایش مقادیر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، میزان کلروفیل a و کل در مقایسه با مقادیر کمتر کلات آهن کاهش یافت هرچند اختلاف آماری معنی‌داری در میان تیمارها مشاهده نشد [۱۰]. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی با نانو کلات آهن با بهبود شرایط تغذیه‌ای، محتوای کلروفیل برگ را افزایش داده است، اما با افزایش میزان مصرف کلات میزان کلروفیل کاهش یافته است. در شرایط سمیت آهن (مقادیر بالا) عدم خنثی شدن رادیکال‌های اکسیژن و باقیماندن پراکسید هیدروژن در گیاه منجر به واکنش فنتون و هابر وایس می‌شود که در ازای آن رادیکال خطرناک هیدروکسیل تولید می‌شود که می‌تواند به صورت پی در پی انواع ماکرو مولکول‌های زیستی از جمله لیپیدها و پروتئین را ناپایدار کند. نتیجه تنش اکسیداتیو ناشی از سمیت آهن در گیاهان کاهش میزان پروتئین‌ها قندهای محلول، کلروفیل و صدمات برگشت‌ناپذیر به غشای زیستی و اسیدهای نوکلئکاست که توسط بسیاری از محققین گزارش شده است [۲۷، ۲۶].

به هرحال مطالعات بر روی گیاهان مانند بادرنجبویه، مریم‌گلی، شمعدانی عطری، کلم قرمز و گلرنگ نشان داده تحت غلظت‌های بالای فلزات، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، ترکیبات فنلی و کارتنوئیدها در گیاه تولید شده و از گیاه محافظت می‌کنند [۱۱،۱۲،۱۳،۲۸،۲۹]. از طرفی کارتنوئیدها رنگدانه‌های کمکی هستند که در جذب و انتقال نور تأثیر دارند و حفاظت‌کننده‌های کلروفیلی در طی فرایند اکسیداسیون نوری محسوب می‌شوند [۳۰] و عنصر آهن برای سنتز کلروپلاست و کارتنوئیدها لازم است [۳۱]، بنابرین افزایش آهن، سنتز کارتنوئیدها را افزایش می‌دهد. برای نمونه محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی آهن تأثیر بسزایی در افزایش میزان کاروتنوئید در گیاه لوبیای قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) داشت [۳۲]. در پژوهشی دیگر بر روی گیاه گلرنگ، محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مقایسه با تیمار شاهد میزان کارتنوئیدها را به طور معنی‌داری افزایش داد [۱۱]. کمبود آهن در گیاه می‌تواند علاوه

بر کاهش سنتز کلروپلاست، با کاهش محسوس کارتنوئید همراه شود. چرا که این رنگدانه‌ها در غشای کلروپلاست جای دارند. به نظر می‌رسد دلیل افزایش میزان کارتنوئید در غلظت‌های بالای آهن جهت جلوگیری از آسیب کلروفیل باشد. زیرا غلظت‌های زیاد آهن در گیاه باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد و افزایش تجمع این مواد در گیاه می‌شود.

محلول‌پاشی مقادیر زیاد (N3 و N6) نانو کلات آهن در هر دو مرحله ساقه‌دهی و گل‌دهی در مقایسه با تیمارهای N2 و N5 میزان آنتوسیانین را کاهش داد. بواسطه افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد آهن از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری شده و به طور غیرمستقیم مقدار آنتوسانین افزایش یافت. چرا که آنتوسیانین‌ها از ساختارهی حساسی مانند غشا حفاظت کرده و از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کنند [۳۳]. مطالعات نشان داد محلول‌پاشی سولفات آهن در گیاه زرشک (*Berberis vulgaris* L.) به طور معنی‌داری میزان آنتوسیانیین را افزایش داد [۳۴]. در تحقیقی دیگر در گیاه گلرنگ محلول‌پاشی و مصرف خاکی کلات آهن، میزان آنتوسیانین برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد [۱۱]. به نظر می‌رسد کاربرد نانو کلات آهن تأثیر مثبتی در افزایش میزان آنتوسیانین داشته است که احتمالاً این افزایش می‌تواند با جلوگیری از آسیب به کلروفیل به افزایش فتوسنتز گیاه منجر شود. اما افزایش سطح آهن تأثیر کاهشی بر میزان آنتوسانین داشت. شاید دلیل این امر تجمع بالای آهن در گیاه باشد. محقیقین گزارش کردند ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها از عوامل مهم در جهت مقابله با رادیکال‌های آزاد در تنش‌های مرتبط با فلزات می‌باشند [۲۹]. بنابرین افزایش آنتوسیانین‌ها یک حالت حفاظتی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از تخریب مولکول‌های زیستی می‌باشد.

محلول‌پاشی نانو کلات آهن باعث افزایش میزان فلاونوئید شد. ولی با افزایش مقادیر مصرف به سطح ۲ گرم در لیتر، مجدداً میزان فلاونوئیدها کاهش نشان داد. محققیق گزاش کردند در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) محلول‌پاشی آهن اثر مثبتی بر افزایش رزمارینیک اسید (نوعی فلاونوئید) داشت [۲۸]. در بررسی دیگری کاربرد مقادیر زیاد کلات آهن میزان فلاونوئیدها را در مقایسه با مقادیر کمتر در گیاه گلرنگ کاهش داد [۱۱]. به نظر می‌رسد تعیین سطح مطلوب آهن نقش مهمی در افزایش یا کاهش فلاونوئید در گیاهان دارد. فلاونوئیدها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که به دلیل ایجاد مکانیسم دفاعی، گیاهان را در برابر اشعه ماورائ بنفش و عوامل بیماری‌زا و گیاهخواران محافظت می‌کند [۳۵]. فلاونوئیدها دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و در تنظیم فعالیت‌های آنزیمی و تولید متابولیت‌های اولیه نقش دارند. میزان فلاونوئیدها در گونه‌های مختلف گیاهی با مرحله رشد، بافت، واریته، تنش‌های محیطی مانند؛ اشعه ماوراء بنفش، خشکی، شرایط خاک، شخم، آفات و بیماری‌ها و کاربرد کودها مرتبط می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد محلول‌پاشی مقادیر متوسط نانو کلات آهن تأثیر مثبتی بر میزان اسانس و رنگدانه‌های فتوسنزی داشت. عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی در مقادیر زیاد (۲ گرم در لیتر) نانو کلات آهن در مراحل رشد ساقه‌دهی و گل‌دهی تأثیر منفی بر اکثر صفات مورد مطالعه داشت. بنابرین کاربرد نانو کود در مقادیر زیاد ممکن است به دلیل ایجاد سمیت آهن در گیاه باعث کاهش درصد و عملکرد اسانس در گیاه می‌شود. با استفاده از مقادیر مناسب نانو کلات آهن علاوه بر کاهش مصرف کود و آلودگی محیط زیست می‌توان با بهبود خصوصیات کمی و کیفی در گیاه دارویی بادرشبو به سمت کشاورزی پایدار حرکت کرد.

منابع

1. Marschner H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2ed. New York: Academic. Press. 1995, pp: 889.

2. Ruiz J.M, Baghour M and Romers L. Efficiency

of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the response of some bio indicators. *J. Plant Nut*. 2000; 23: 1777 - 86.

3. Suh H, Kim C.H., Lee J and Jung J. Photodynamic effect of iron on photosystem II function in pea plants. *Photochem Photobio*. 2002; 75: 513 - 18.

4. Rezai R, Hoseyni S.M, Shabanali H and Safa L. Identify and analyze the barriers to the development of nanotechnology in the agricultural sector from the perspective of researchers. *J. Sci. Technol. Policy* 2010; 2 (1): 17 - 26.

5. Naderi M, Danesh-Shahraki A and Naderi R. The role of nanotechnology in improving the use efficiency of nutrients and chemical fertilizers. *Mon Nanotechnol*. 2013; 11 (12): 16 - 32.

6. Liu X, Feng Z, Zhang S, Zhang J, Xiao Q and Wang Y. Preparation and testing of cementing nano-sub nanocomposites of slower controlled release of fertilizers. *Sci. Agric Sinica*. 2006; 39: 1598 - 604.

7. Malakuti M.J. and Tehrani M. The role of micronutrients on yield and quality of crops. Tarbiat modares press. 1999, 433 p.

8. Yeritsyan, N and Economics C. Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants growth in solution culture. *Acta Hort*. 2002; 576: 277 - 83.

9. Peyvandi M Kamali-Jamakani Z and Mirza M. The effect of nano-iron with iron chelate on the growth and activity of antioxidant enzymes in *Satureja hortensis*. *New Cell. Mol. Biotechnol. J*. 2012; 2 (5): 25 - 32.

10. Fathi-Amirkhiz K, Amini-Dehagi M and Heshmati S. The effect of chelated iron on chlorophyll content, quantum efficiency of photosystem II and some biochemical traits of safflower in low irrigation condition. *Iran. J. Field Crops Sci*. 2016; 46 (1): 137 - 45.

11. Ghorbanpour M. Major essential oil constituents, total phenolics and flavonoids content and antioxidant activity of Salvia officinalis plant in response to nano-titanium dioxide. *Ind. J. Plant Physiol.* (July–September 2015); 20 (3): 249 - 56.

12. Ghorbanpour M and Hatami M. Changes in growth, antioxidant defense system and major essential oils constituents of Pelargonium graveolens plant exposed to nano-scale silver and thidiazuron. *Ind. J. Plant Physiol*. (April–June 2015); 20 (2): 116 - 23.

13. Dastmalchi K, Dorman H.G, Kosar M and Hiltunen R. Chemical composition and in vitro antioxidant evaluation of a water soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract. *Food Sci. Technol*. 2007; 40: 239 - 48.

14. Arnon D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*. 1949; 24 (1): 1 - 150.

15. Krizek D.T, Kramer G.F, Upadhyaya A and Mirecki R.M. UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halid and high pressure sodium/deluxe lamps. *Physiol. Plant*. 1993; 88: 350 - 58.

16. Rajab-beigi A, Ghannati F and Sefidkon F. The effect of iron on essential oil content of basil (*Ocmium basilicum* L.). *J. Sci. Tehran Univ*. 2008; 4: 49 - 53.

17. Nateghi Sh, Pirzad A and Darvishzadeh R. The effect of iron and zinc micronutrient fertilizers on yield and yield component of anise. *J. Hortic. Sci*. 2016; 29 (1): 37 - 46.

18. Misra A, Dwivedi S, Srivastava A.K., Tewari D.K., Khan A and Kumar R. Low iron stress nutrition for evaluation of Fe- efficient genotype physiology, photosynthesis, and essential monoterpene oil yield of *Ocmium sanctum*. *Photosynte*. 2006; 44: 474 - 77.

19. Zehtab- Salmasi S. Heidari F and Alyari H. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha peppermint* L.) *Plant Sci. Res*. 2008; 1: 24 - 28.

20. Asad A and Rafique R. Effect of zinc, copper, iron and manganese on the yield and yield

components of wheat in Tehsil Peshawar. *Pakistan. J. Biolog. Sci*. 2000; 3 (10): 1615 - 620.

21. Jabbari R, Amini Dehaghi M, Modares Sanavi S.A.M. and Agahi K. Nitrogen and iron fertilization methods affecting essential oil and chemical composition of thyme (*Thymus vulgaris* L.) Medical Plant. *Adv. Environm. Biol*. 2011; 5 (2): 433 - 8.

22. Miransari H, Mehrafrin A and Naghdi-Badi H. Response of morphological and phytochemical reactions to spray sulfate and zinc fertilizer in (*Anethum graveolens* L.). *J. Med. Plants* 2015; 14 (2): 15 - 29.

23. Maleki-Farahani S and Agigi-Shahverdi M. Effect of nano iron fertilizer application compared to iron chelate fertilizer on quantitative and qualitative of (*Crocus sativus* L.). *Agric Crop. Manage*. 2015; 17 (1): 155 - 68.

24. Nasiri Y, Zehtab-Salmasi S, Nasrullahzadeh S.N., Najafi N and Ghassemi-Golezani K. Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *J. Med. Plants Res*. 2010; 4 (17): 1733 - 37.

25. Bhattacharjee. SReactive oxygen species and oxidative stress senescence and signal transduction in plants. *Curr. Sci*. 2005; 89: 1113 - 121.

26. Kuo M.C and Kao C.H. Antioxidant enzyme activities are up regulated in response to cadmium in sensitive, but not in tolerant, rice (*Oryza sativa* L.) seedlings, *Bot. Bull. Acad*. 2004; 45: 291 - 99.

27. Kiani M.H., Mokhtari A, Zeinali H, Abbasnejad A and Afghani Khoraskani L. Rosmarinic acid and anthocyanin content improvement by foliar application of Fe and Zn fertilizer in Lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res*. 2014; 2 (5): 1525-30.

28. Posmyk M.M., Kontek R and Janas K.M. Antioxidant Enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 2009; 72 (2): 596 - 602.

29. Sharma P.K and Hall D.O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. *J. Plant Physiol*. 1991; 138 (5): 614 - 19.

30. Akbarian M.M., Heidari Sharifabad H. Noormohammadi G and Darvish Kojouri F. The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativa*). *Ann. Biol. Res*. 2012; 3 (12): 5651 - 58.

31. Shamloo A and Roozbahani A. Effect of amino acids and microelements on the rate of photosynthetic pigments content and yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Ecophysiol*. 2016; 7 (21): 136 - 50.

32. Leng P, Itamura H, Yamamura H.H and Deng X. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Hort*. 2000; 83: 43 - 50.

33. Nakhai F. Effects of spraying different concentrations of urea, boric acid, iron, copper, zinc at different times on fruit characteristics of (*Berberis vulgaris* L.). 7th Iranian Horticultural Science Congress, 5-8 September, 2014. Esfahan, Iran.

34. Kalinova J and Vrchotova N. The influence of organic and conventional crop management, variety and year on the yield and flavonoid level in common buckwheat groats. *Food Chem*. 2011; 127: 602 - 8.