گیاه و زیست فناوری ایران
Iranian Journal of Plant & Biotechnology (IJPB)

مقاله پژوهشی

بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

الهه قبادی[۲] و علیرضا لادن‌مقدم (نویسنده مسئول)[۲*]

۱- کارشناس‌ارشد، گروه علوم باغبانی، واحد علی‌آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آباد کتول، ایران، elahe_gh1985@outlook.com

۲*- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، ladan_moghaddam@yahoo.com

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۲

The effect of foliar application of iron, zinc and manganese nano-chelates on growth and biochemical indicators of peppermint (*Mentha piperita* L.)

Elahe Ghobadi[2] and Alireza Ladan Moghadam (Corresponding author)[2*]

1- M.Sc Student, Department of Horticulture, Aliabad katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad katoul, Iran, elahe_gh1985@outlook.com

2*- Associate Professor, Department of Horticulture, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, ladanmoghadam.alireza@gmail.com

Received: April 2023 Accepted: September 2023

چکیده

امروزه استفاده از نانو کودها به منظور کاهش تلفات عناصر غذایی و افزایش کمیت و کیفیت گیاهان دارویی از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز (صفر، ۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر) بر شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه‌ای واقع در شهر گرگان در سال ۱٤۰۰ اجرا شد، گیاهان از مرحله چهار برگی در سه مرحله به فاصله زمانی ۱۰ روز یکبار محلول‌پاشی شدند و پس از گذشت دو هفته از آخرین محلول‌پاشی در مرحله گلدهی نمونه‌برداری و ارزیابی صفات انجام شد. نتایج نشان داد، تیمارها تاثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشتند، به‌طوریکه بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل کل، میزان آهن و درصد اسانس در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات آهن و بیشترین وزن تر و خشک ریشه و میزان روی گیاه در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات روی حاصل شد، همچنین در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات منگنز نیز بیشترین محتوای فنل، فلاونوئید و منگنز مشاهده شد. بطورکلی نتایج نشان داد، کاربرد نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز با غلظت ٦ میلی‌گرم در لیتر تاثیر مثبتی در افزایش صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی نعناع فلفلی نشان داد.

کلمات کلیدی: اسانس، عناصر غذایی، مورفولوژیک، نعناع فلفلی

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران
سال۱٤۰۲، دوره۱۸، شماره ۲، صص ٥٤-٤۲

Abstract

Nowadays, the use of nano-fertilizers is of great importance in order to reduce the losses of nutrients and increase the quantity and quality of medicinal plants is great importance. To investigate the effect of foliar application of iron, zinc and manganese nano-chelates (Zero, 2, 4 and 6 mg/l) on the growth and biochemical indices of peppermint (*Mentha piperita* L.) in a completely randomized design with three replications, Located in Gorgan city, it was carried out in 2021, the plants were foliar-sprayed from the four-leaf stage in three stages with a time interval of 10 days, and after two weeks of the last foliar spray, sampling and trait evaluation was done in the flowering stage. The results showed that the treatments had a significant effect on the evaluated traits, so that the highest fresh and dry shoot weight, plant height, total chlorophyll content, iron content and essential oil content in the treatment of 6 mg/l iron nano-chelates and the highest fresh and dry weight of roots and amount of plant zinc were obtained in the treatment of 6 mg/l zinc nano-chelates, also in the treatment of 6 mg/l manganese nano-chelates, the highest content of phenol, flavonoids and manganese was observed. Overall, the results showed that the application of 6 mg/l nano-chelates of iron, zinc and manganese positively increased peppermint's morphological and biochemical traits.

Keywords: Essential oil, Morphology, *Mentha piperita* L., Nutrients.

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Summer 2023, Vol 18, No 2, Pp 42-54

مقدمه و کلیات

گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) متعلق به تیره نعنائیان (Lamiaceae) و بومی مناطق مدیترانه‌ای است (Danaee and Abdossi, 2021a). میزان اسانس سرشاخه‌های این گیاه ۰/۱ تا ۲/۵ درصد است که از مهمترین ترکیبات اسانس آن می‌توان به منتول، منتون، منتوفوران و پولگون اشاره کرد، این گیاه در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی کاربردهای فراوانی دارد و تا کنون خاصیت ضد باکتری و قارچی، آنتی‌اکسیدانی و ضدتومور این گیاه مورد مطالعه قرار گرفته است (Javanmard *et al.*, 2022). تغذیه گیاهان یکی از فاکتورهای مهم در رشد و عملکرد گیاهان دارویی می‌باشد و امروزه استفاده از فناوری نانو به عنوان یک فناوری پیشتاز در تولید محصولات کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا استفاده از نانو کودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم موجب به حداقل رساندن آثار منفی مصرف بیش از حد کودها، آزاد شدن تدریجی و کنترل شده عناصر غذایی به خاک و افزایش حاصلخیزی آن می‌شود (Danaee and Abdossi, 2019). آهن یکی از عناصر ضروری است که در فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و کلروفیل اثر می‌گذارد، همچنین این عنصر در فعالیت برخی از آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز نقش دارد (Gardner *et al.*, 2011). در بین عناصر ضروری عنصر روی با فعالسازی آنزیم‌های ضروری تولید هورمون‌های رشد از جمله اکسین، افزایش تولید کلروفیل، افزایش تنفس، تنظیم رشد و تسریع بلوغ، افزایش ذخیره کربوهیدارت‌ها، افزایش پروتئین، تحریک تشکیل بذر، کمک به جذب بیشتر آب و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی موجب بهبود عملکرد محصولات زراعی و باغی می‌گردد (Pandey *et al.*, 2010). همچنین منگنز نیز از جمله عناصر ضروری و کم مصرف در تغذیه گیاهان محسوب می‌شود که در مسیر فتوسنتز و واکنش‌های تجزیه آب جهت تولید اکسیژن مؤثر است، این عنصر در واکنش‌های اکسایش و احیا نقش مهمی دارد (Muzolf-Panek *et al.*, 2017). تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد کودهای نانو در تولید محصولات زراعی و باغی صورت گرفته است، برای مثال، مطالعات Yadegari (2017) نشان داد، مصرف نانوکلات‌های آهن، روی، منگنز و مس، موجب افزایش میزان وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد گل، محتوی فنل، فلاونوئید و درصد اسانس در گیاه بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L.) گردید، همچنین در آزمایشی دیگر پیرامون تاثیر نانو کلات‌های آهن و روی بر گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، بیشترین وزن تر و خشک ساقه و ریشه، میزان ویتامین ث، محتوی فنل و روی در تیمار نانو کلات روی و بیشترین محتوی کلروفیل کل، فلاونوئید، آهن و درصد اسانس در تیمار نانو کلات آهن مشاهده شد (Danaee and Abdossi, 2021b). در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نیز کاربرد آهن، روی منگنز به صورت جداگانه و توام موجب افزایش میزان و عملکرد روغن و محتوای روی، آهن و منگنز گردید (Soleimani *et al.*, 2017). با توجه به اهمیت دستیابی به غلظت بهینه این عناصر جهت افزایش کیفیت و عملکرد

گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) انجام شد.

فرآیند پژوهش

کشت گیاهان و اعمال تیمارها: به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات های آهن، روی و منگنز بر شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در نیمه دوم اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ در گلخانه‌ای واقع در شهرستان گرگان اجرا گردید. شرایط گلخانه شامل میانگین دمای روز و شب ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد و نور ۶۰ تا ۷۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود. ریزوم های شسته شده و در نیمه دوم اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر در عمق ۳ تا ٤ سانتی‌متری کشت شدند، آنالیز خاک در جدول ۱ ارائه شده است، سپس محلول‌پاشی نانو کلات های آهن، روی و منگنز (صفر، ۲، ٤ و ٦ میلی گرم در لیتر) در مرحله چهار برگی به فاصله زمانی ۱۰ روز یک‌بار انجام شد و گلدان شاهد نیز توسط آب مقطر محلول‌پاشی شد. در طول رویش آبیاری بسته به شرایط آب و هوایی و نیاز گیاه انجام گرفت. نمونه برداری و ارزیابی صفات نیز حدود دو هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی در مرحله گلدهی انجام شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1- Some selected physicochemical properties of studied soil

هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته (pH)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	نیتروژن (%)	ماده آلی (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک
۱/۵	۷/۳	۲٤۰/۵	۱۳/۲	۰/۳۷	۲/۳۹	٤۲	۳۵	۲۳	لومی

صفات مورفولوژیک: جهت تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها به مدت دو هفته در دمای اتاق قرارداده شدند و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم توزین شد، همچنین ارتفاع گیاه توسط خط کش مدرج اندازه‌گیری گردید (Soroori and Danaee, 2023).

کلروفیل کل: محتوای کلروفیل کل با استفاده از روش شرح داده شده توسط Danaee و Abdossi (2019) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول موج‌های ٦٦۳ نانومتر برای کلروفیل a و ٦٤۵ نانومتر برای کلروفیل b اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

فنل: میزان فنل کل با استفاده از معرف فولین-سیکالچیو اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ قرائت شد و بر حسب میلی‌گرم (گالیک اسید) بر گرم وزن خشک برگ محاسبه شد (McDonald *et al.*, 2001).

فلاونوئید: جهت اندازه گیری میزان فلاونوئید برگ، میزان جذب عصاره‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤١٥ نانومتر قرائت گردید و در نهایت برحسب میلی‌گرم (کوئرستین) بر گرم وزن خشک برگ بیان شد (Chang *et al.*, 2002).

آهن، روی و منگنز: جهت اندازه‌گیری عناصر آهن، روی و منگنز نمونه‌ها داخل آون با دمای ۸۵ درجه به مدت ٤ ساعت قرار داده شد و سپس جذب نمونه‌ها به ترتیب در طول موج ۲٤۸/۳، ۲۱۳/۹ و ۲۸۹/۵ نانومتر توسط دستگاه جذب اتمی (Analyst 700, Perkin Elmer, USA) قرائت شد (Mahdi Nezhad *et al.*, 2002).

اسانس: جهت استخراج اسانس اندام هوایی نعناع فلفلی از دستگاه کلونجر (Shimadzu modelQP5050A) استفاده شد و در نهایت میزان اسانس بر حسب درصد وزنی در صد گرم ماده خشک بیان گردید (Asgarian *et al.*, 2021).

تجزیه و تحلیل آماری: آنالیز آماری توسط نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) انجام گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد ارزیابی و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (۲۰۱٦) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نانو کلات آهن، روی و منگنز بر وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، ارتفاع گیاه، کلروفیل کل، فنل، آهن، روی، منگنز در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، در حالیکه وزن خشک ریشه، فلاونوئید و درصد اسانس در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانوکلات‌های آهن، روی و منگنز بر شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Table 2- Analysis of variance of iron, zinc and manganese nano chelates on growth and biochemical indices of *Mentha piperita* L.

منبع تغییرات	میانگین مربعات											
	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	کلروفیل کل	فنل	فلاونوئید	آهن	روی	منگنز	درصد اسانس
تیمار	۹	۲۱۳/۹۸**	۲۵۸/۱۵**	۱۵٤/۵۳**	۱۸۳/۲۲*	۲٦۷/۹۲**	۱۲۰/۰۱**	۱٤۸/۲۸**	۱۳۱/۳۳*	۸۷/۸٦**	۹۲/۱٤**	۸۵/٤٤**	۷۱/٦۱*
اشتباه آزمایشی	۲۰	۰/۵۸	۰/٤٤	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۵۷	۰/٤٤	۰/۲۸	۰/۵۰	۰/۳٤	۰/۳۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۱/٤۲	۹/۱٤	۹/۷۷	۱۰/۷۸	۹/۱۳	۱۱/٦٤	۹/۲۱	۸/۸۳	۱۰/۰٦	۸/۳۵	۸/۱۷	۱۰/۰۳

****، *، ns به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار**

صفات مورفولوژیک: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، کاربرد نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز به طور معنی داری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد افزایش داد، به‌طوریکه با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانو کلات‌ها بر میزان آن‌ها افزوده شد. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب با ۲٦/۸۹ و ۸/۳ گرم در تیمار آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۱٦/۸۷ و ۵/۸ گرم در شاهد مشاهده شد، همچنین بیشترین وزن تر و خشک ریشه با ۹/۸۵ و ٤/۸۲ گرم در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات روی و کمترین با ۵/۸۳ و ۲/٤۹ گرم در شاهد بدست آمد. بیشترین ارتفاع گیاه نیز با ۲۹/۳۹ سانتی‌متر در تیمار نانو کلات آهن ٦ میلی گرم در لیتر و کمترین با ۲۲/٤۸ سانتی‌متر در شاهد حاصل شد (جدول ۳).

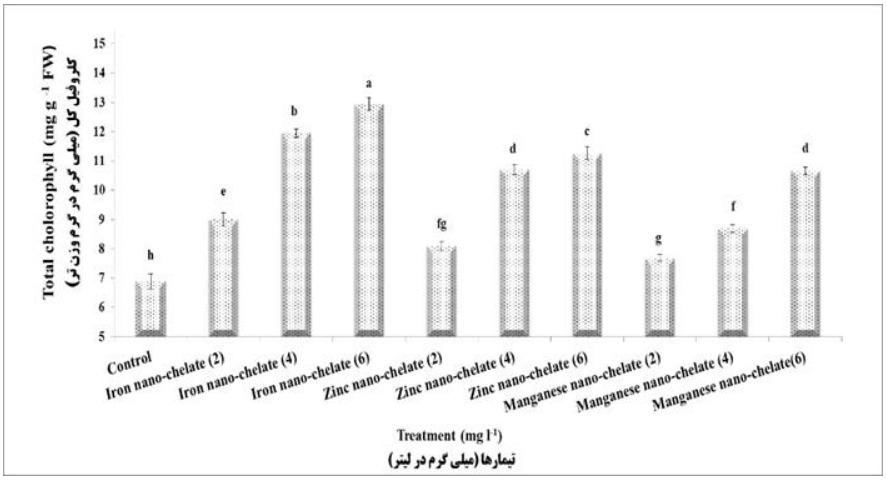
جدول ۳- اثر سطوح مختلف نانوکلات‌های آهن، روی و منگنز بر شاخص‌های رشدی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Table 3- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano-chelates on the growth indices of *Mentha piperita* L.

تیمار	غلظت (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
شاهد	۰	۱٦/۸۷^{h}	۵/۸^{h}	۵/۸۳^{i}	۲/٤۹^{g}	۲۲/٤۸^{h}
نانو کلات آهن	۲	۲۲/۸۵^{e}	۷/۲^{e}	۷/۱۲^{g}	۳/۱۲^{d}	۲۵/۹٦^{e}
	٤	۲٤/۲٤^{c}	۷/۷^{c}	۷/٦۱^{e}	۳/۵۱^{e}	۲۸/۲٤^{b}
	٦	۲٦/۸۹^{a}	۸/۳^{a}	۸/۲۳^{cd}	۳/۹٤^{c}	۲۹/۳۹^{a}
نانو کلات روی	۲	۲۱/٦۲^{fg}	٦/٦^{g}	۷/۱۸^{g}	۳/۰۱^{f}	۲٤/۱۲^{f}
	٤	۲۳/۳۱^{de}	۷/۱^{f}	۸/٦۱^{b}	٤/۲۱^{b}	۲٦/٤۳^{d}
	٦	۲۵/۵۷^{b}	۷/۸^{b}	۹/۸۵^{a}	٤/۸۲^{a}	۲۷/٦٦^{c}
نانو کلات منگنز	۲	۲۰/۹۷^{g}	۷/۱^{f}	٦/۷۹^{h}	۲/۹۵^{fg}	۲۳/٦۵^{g}
	٤	۲۲/٦۸^{f}	۷/۳^{e}	۷/۳٤^{f}	۳/۲۸^{e}	۲۵/۲۵^{e}
	٦	۲۳/٦۲^{d}	۷/۵^{d}	۸/۱۲^{d}	۳/۷۵^{d}	۲٦/٦۷^{d}

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq0.05$ است

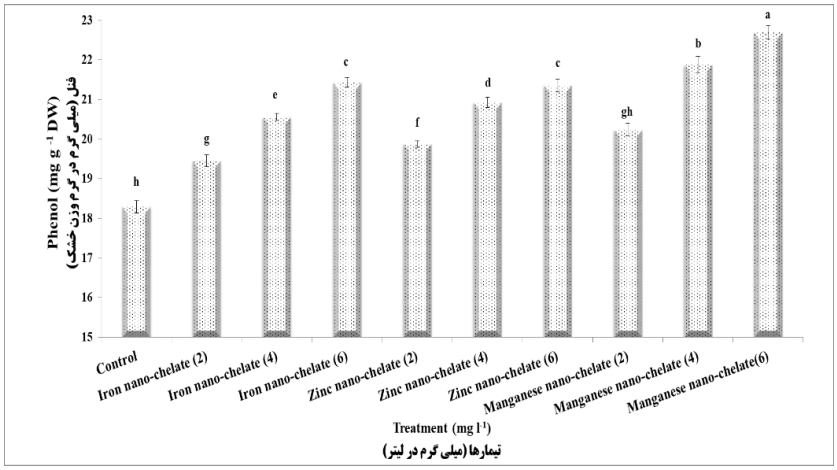
کلروفیل کل: همانطور که از شکل ۱ نمایان است، محتوای کلروفیل کل به طور معنی داری تحت تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی قرار گرفت و افزایش غلظت نانوکلات‌ها محتوای کلروفیل کل نعناع فلفلی را افزایش داد. بیشترین محتوای کلروفیل کل در تیمار آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر (۱۲/۹٤ میلی‌گرم در گرم) و کمترین در شاهد (٦/۸۹ میلی‌گرم در گرم) بدست آمد.



شکل ۱- اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر محتوای کلروفیل کل نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 1- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano chelates on total leaf chlorophyll content of *Mentha piperita* L.

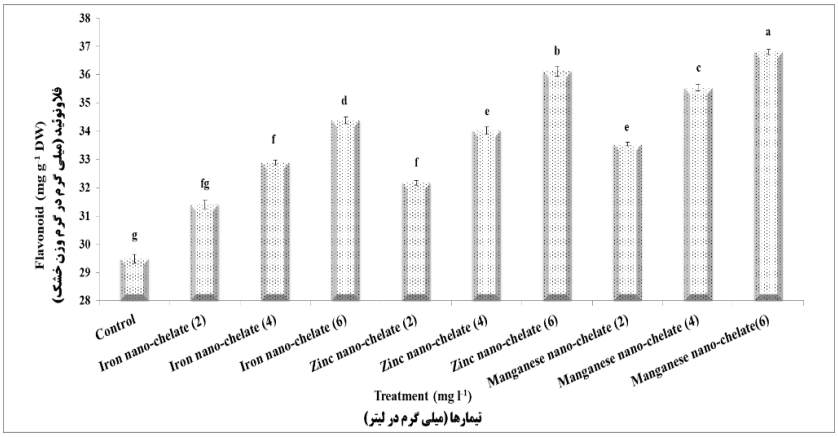
فنل: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز موجب افزایش محتوای فنل گیاه نسبت به شاهد گردید و با افزایش غلظت تیمارهای محلول‌پاشی بر میزان آن افزوده شد، بطوریکه بیشترین محتوای فنل با ۲۲/٦۹ میلی‌گرم در گرم در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات آهن و کمترین با ۱۸/۲۹ میلی‌گرم در گرم در شاهد مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر محتوای فنل نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 2- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano chelates on phenol content of *Mentha piperita* L.

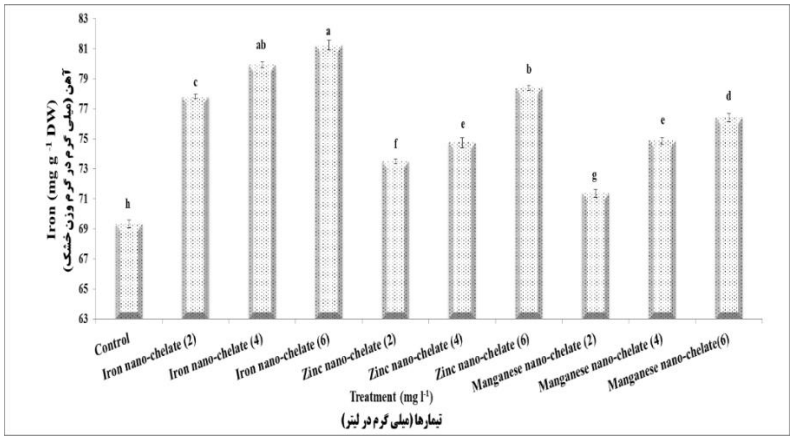
فلاونوئید: همانطور که از شکل ۳ نمایان است، محلول‌پاشی گیاه توسط نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز محتوای فلاونوئید گیاه را افزایش داده و با افزایش غلظت تیمارهای محلول‌پاشی بیشترین تاثیر بر محتوای فلاونوئید نعناع فلفلی مشاهده شد، در غلظت ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات منگنز بیشترین (۳٦/۸۱ میلی‌گرم بر گرم) و شاهد کمترین (۲۹/٤۸ میلی‌گرم در گرم) محتوای فلاونوئید حاصل شد.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر محتوای فلاونوئید نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 3- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano chelates on flavonoid content of *Mentha piperita* L

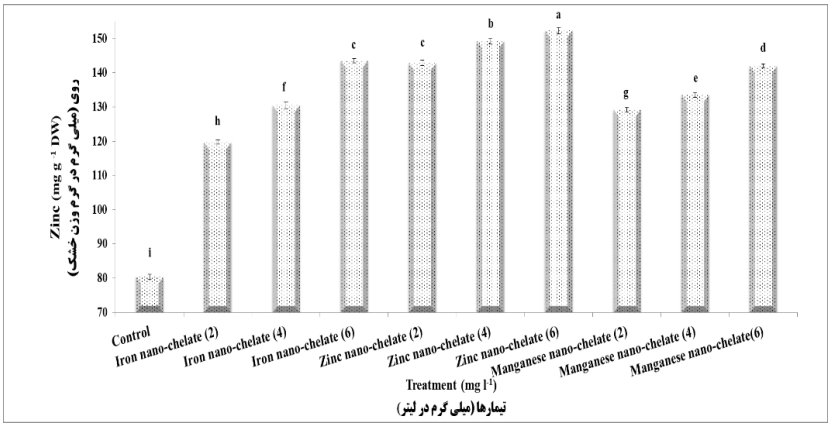
آهن: نتایج نشان داد، محلول‌پاشی گیاه توسط تیمارهای نانو کلات آهن، روی و منگنز بر میزان آهن گیاه نعناع فلفلی تاثیر معنی داری داشت بطوریکه بیشترین میزان آهن در تیمار نانو کلات آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر (۸۱/۲٤ میلی‌گرم در گرم) و کمترین در شاهد (٦۹/۳۲ میلی‌گرم در گرم) مشاهده شد (شکل ٤).



شکل ٤- اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر میزان آهن نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 4- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano chelates on leaf iron content of *Mentha piperita* L.

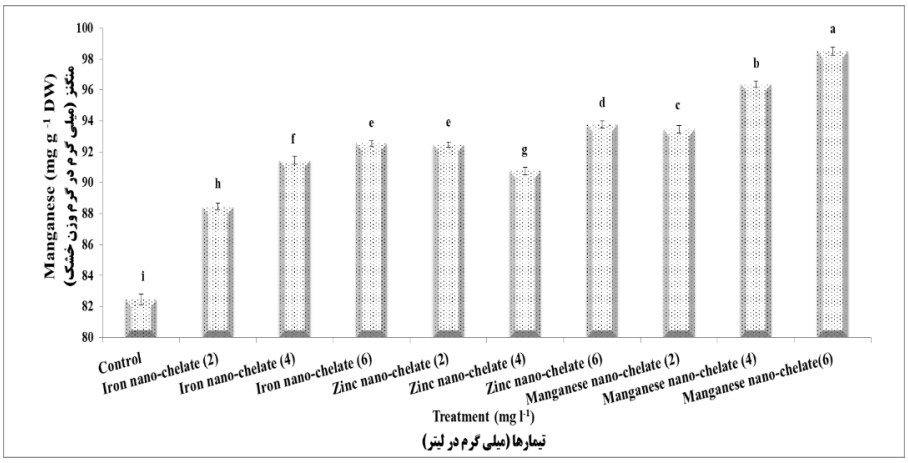
روی: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، میزان روی گیاه به طور معنی‌داری تحت تیمارهای محلول‌پاشی قرار گرفت و بیشترین میزان روی گیاه در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات روی (۱۵۲/۳٤ میلی‌گرم در گرم) و کمترین در شاهد (۸۰/۳۸ میلی‌گرم در گرم) بدست آمد (شکل ٥).



شکل ٥- اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر میزان روی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 5- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano chelates on leaf zinc content of *Mentha piperita* L.

منگنز: نتایج نشان داد، محلول‌پاشی گیاه توسط نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز میزان منگنز گیاه را افزایش داد، بیشترین منگنز گیاه با ۹۸/٥۲ میلی‌گرم در گرم در تیمار نانو کلات منگنز ٦ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۸۲/٤۳ میلی‌گرم در گرم در شاهد مشاهده شد (شکل ٦).

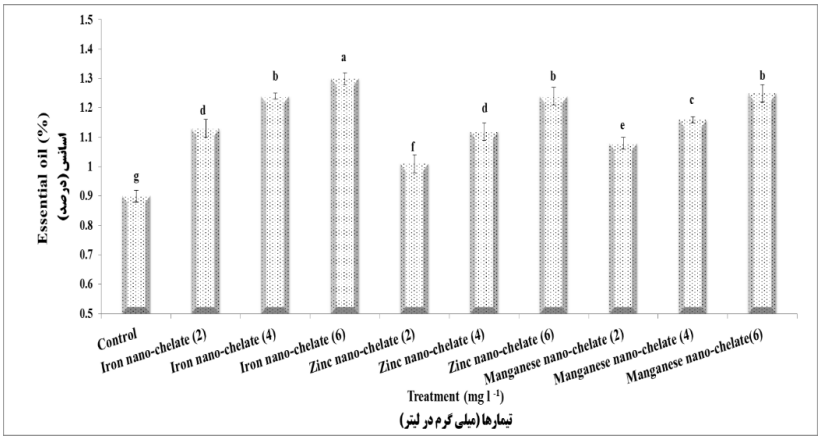


شکل ٦- اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر میزان منگنز نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 6- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano chelates on leaf manganese content of *Mentha piperita* L.

اسانس: بررسی داده‌ها نشان داد، کاربرد نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز میزان اسانس نعناع فلفلی را نسبت به شاهد افزایش داد و با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانو کلات‌ها بر میزان اسانس گیاه افزوده شد به‌طوریکه بیشترین درصد اسانس در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات آهن (۱/۳۰

درصد) و کمترین در شاهد (۰/۹۰ درصد) مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۷- اثر سطوح مختلف نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز بر میزان اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Fig 7- The effect of different levels of iron, zinc and manganese nano chelates on essential oil percentage of *Mentha piperita* L.

در پژوهش حاضر کاربرد نانو کلات آهن موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه گردید، زیرا آهن در ساختمان کلروفیل نقش اساسی دارد، در نتیجه کاربرد نانو کلات آهن از طریق افزایش محتوای کلروفیل گیاه منجر به افزایش فتوسنتز و رشد رویشی بیشتر در گیاه می‌گردد که در نهایت موجب تولید پوشش گیاهی توسعه یافته تر و شاخ و برگ بیشتری می‌گردد، همچنین با بالاتر رفتن سطح کربن گیری و سنتز پروتئین‌ها میزان ماده خشک تولیدی در گیاه نیز بیشتر می‌شود (Heidarzade *et al*., 2016). Askary و همکاران (2017) نیز اثر مثبت نانوکلات آهن را بر افزایش وزن تر و خشک برگ در گیاه گلرنگ (*Catharanthus roseus*) گزارش کرده اند. بررسی‌ها نشان داد، نانو کلات روی موجب افزایش وزن تر و خشک ریشه نعناع فلفلی گردید، زیرا عنصر روی موجب افزایش جذب عنصر پتاسیم می‌شود که نقش مهمی در تنظیم روزنه‌ها و در نتیجه میزان فتوسنتز دارد، در نتیجه از طریق اثر بر افزایش مقدار کلروفیل برگ و بهبود عمل فتوسنتز و جذب بهتر مـواد مغـّذی، وزن تر و خشک ریشه افزایش می‌یابد، همچنین این عنصر به عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها از طریق شرکت در بیوسنتز اسید آمینه تریپتوفان و به عنوان پیش ماده سنتز اکسین موجب تحریک رشد گیاه می‌شود (Gurmani *et al*, 2012)، مطابق با یافته‌های این پژوهش Danaee و Abdossi (2021b)، افزایش وزن تر و خشک ریشه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) را در شرایط محلول‌پاشی نانو کلات روی گزارش نمودند. افزایش ارتفاع نعناع فلفلی به واسطه نانو کلات آهن نیز مربوط به نقش این عنصر در فتوسنتز است، زیرا عنصر آهن نقش اساسی در تعداد گرانای کلروپلاست دارد، در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها وارد می‌شود که در نهایت موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد

(Heidarzadeh *et al*., 2016). در گیاه بابونه (*Matricaria Chamomilla* L.) نیز نانو کلات آهن موجب افزایش ارتفاع گیاه گردید (Azade godjebigloo *et al*., 2017). نتایج نشان داد، کاربرد نانو کلات آهن محتوای کلروفیل کل نعناع فلفلی را افزایش داد، زیرا شکل گیری کلروفیل بدون حضور آهن امکان پذیر نیست و افزایش کلروفیل در اثر کاربرد آهن می‌تواند ناشی از نقش آهن در ساختمان سیتوکروم به عنوان ناقل الکترون در سیستم‌های فتوسنتزی برای تنفس، عملیات اکسیداسیون و احیا و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همانند آسکوربات پراکسیداز و گلوتامین ردوکتاز باشد که از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کنند (Briat *et al*., 2015). همچنین تشکیل اسید دلتا آمینولینیک اسید که در ساخت کلروفیل و هم (Hem) نقش دارد، به وسیله آهن کنترل می‌شود، در نتیجه کاربرد آهن محتوای کلروفیل کل گیاه را افزایش می‌دهد (Hirai *et al*., 2007). Heidarzade و همکاران (2020) در گیاه به لیمو (*Lippia citriodora*) اثر مثبت آهن را بر محتوای کلروفیل کل گزارش نمودند. بررسی داده‌ها نشان داد، کاربرد نانو کلات منگنز محتوای فنل و فلاونوئید نعناع فلفلی را افزایش داد، علت آن را می‌توان به نقش منگنز در فرآیندهای آنزیمی، احیای نیترات، متابولیسم پروتئین و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و حفظ آنتی‌اکسیدان‌ها نسبت داد (Allahverdi Markadeh and Yadegari, 2015) همچنین منگنز به عنوان فعال‌کننده برخی آنزیم‌ها مانند دکربوسیلازها، دهیدروژنازها و ترانسفرازها، بطور غیرمستقیم در چرخه تری کربوکسیلیک اسید در مسیر اسید شیکمیک دخیل است که منجر به سنتز اسیدآمینه‌های معطر و در نهایت سنتز فنل و فلاونوئید می‌گردد (Muzolf-Panek *et al*., 2017). نتایج این آزمایش با نتایج Danaee و Abdossi (2021)، در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و Yadegari (2017) بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L.) مطابقت دارد. نتایج نشان داد، نانو کلات آهن موجب افزایش جذب آهن در اندام هوایی گیاه نعناع فلفلی گردید که می‌تواند مربوط به اثر مثبت آهن در افزایش زیست توده و در نتیجه جذب بیشتر آهن در اندام هوایی باشد، با توجه به اینکه جذب آهن از طریق سوخت و ساز فعال صورت می‌گیرد، عواملی نظیر فتوسنتز و تنفس بر جذب این عنصر نقش دارد (Ghorashi *et al*., 2012). نتایج Jafari و همکاران (2014) نشان داد، کاربرد نانو کلات آهن موجب افزایش جذب آهن در گیاه شوید (*Anethum graveolens*) گردید. محلول‌پاشی گیاه توسط نانو کلات روی، میزان جذب روی را در گیاه افزایش داد که دلیل آن می‌تواند فراهمی میزان قابل جذب این عنصر در محیط رشد گیاه باشد، مطابق با یافته‌های این پژوهش محلول‌پاشی روی میزان روی را در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) افزایش داد (Danaee and Abdossi, 2021b). بررسی داده‌های پژوهش نشان داد، کاربرد نانو کلات منگنز جذب این عنصر را در گیاه افزایش داد. زیرا منگنز جز عناصر کم تحرک است و محلول‌پاشی آن نیاز گیاه را فراهم کرده است و میزان جذب آن در گیاه افزایش یافته است. Soleimani و همکاران (2017)، نیز افزایش

غلظت این عنصر را در گیاه گلرنگ (*Catharanthus roseus*) تحت محلول پاشی با منگنز گزارش نمودند. محلول پاشی گیاه نعناع فلفلی توسط نانو کلات آهن میزان اسانس را در این گیاه افزایش داد، که دلیل آن می‌تواند مربوط به نقش آهن در افزایش فعالیت فتوسنتزی باشد، در نتیجه فراهمی این عنصر در تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر است (Nasiri *et al*., 2010). نتایج این تحقیق با نتایج Yousefzadeh و همکاران (2016) در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) و Danaee و Abdossi و همکاران (2021b) در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل کل، میزان آهن و درصد اسانس در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات آهن و بیشترین وزن تر و خشک ریشه و میزان روی گیاه در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات روی حاصل شد، همچنین در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات منگنز نیز بیشترین محتوای فنل، فلاونوئید و منگنز مشاهده شد. بطورکلی، کاربرد نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز تاثیر مثبتی در افزایش شاخص‌های رشدی و صفات بیوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی داشته است و جهت دستیابی به حداکثر این صفات کاربرد ٦ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات‌های آهن، روی و منگنز توصیه می‌شود.

منابع

1) Allahverdi Markadeh, Z. and M, Yadegari. 2015. Investigation of the effect of copper and manganese on the secondary compounds of Lemongrass (*Melisa officinalis*), International Conference on Applied Research in Agriculture, Tehran, Iran, https://civilica.com/ doc / 415388.
2) Asgarian, H., Abdossi, V., Danaee, E. and A, Ladan Moghadam. 2021. Effects of using humic acid and selenium on some morphophysiological characteristics of *Calendula officinalis* L. under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(4): 596-611.
3) Askary, M., Amirjani, M. and T, Saberi, T. 2017. Comparison of the effects of nano-iron fertilizer with iron-chelate on growth parameters and some biochemical properties of *Catharanthus roseus*. *Journal of Plant Nutrition*, 40(7): 974-982.
4) Azade godjebigloo, H., Fakheri, B., Mehdi Nejhad, N. and G, Parmoon. 2017. Response of Different Irrigation on Nano Iron Chelated to Chamomile (*Matricaria Chamomilla* L.) Genotypes. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(43): 565-584.
5) Briat, J. F., Dubos, C. and F, Gaymard. 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science*, 20(1): 33-40.
6) Chang, C. C., Yang, M. H., Wen H. M. and J. C, Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3): 178-182.
7) Danaee, E. and V, Abdossi. 2019. Evaluation of the effect of foliar application of iron, potassium and zinc nanocholate on enzymatic activity and nutritional value of some leafy vegetables. *Technology and Nutrition*, 16(2): 45-53 .
8) Danaee, E. and V, Abdossi. 2021a. Effects of silicon and nano-silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1): 98-112.

9) Danaee, E. and V, Abdossi. 2021b. Effect of foliar application of iron, potassium, and zinc nano-chelates on nutritional value and essential oil of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Food and Health Journal*, 4(4): 13-20.
10) Gardner, FP., Piers, R. and L, Michelle. 2011. Physiology of crop plants. Translation: Koocheki, A., and Sarmadnia, Gh. 16th ed. Mashhad SID Press, pp 400.
11) Ghorashi, L., Haghnia, G.H., Lakzian, A. and R, Khorasani. 2012. Effect of phosphorus and organic matter on availability and iron uptake in mays (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology,* 4(1): 12-19.
12) Gurmani, A.R., Din, J.U., Khan, S.U., Andaleep, R., Waseem, K., Khan, A. and U, Hadyat., 2012. Soil application of zinc improves growth and yield of tomato. *International Journal of Agriculture and Biology*, (14): 91–96.
13) Heidarzadeh, A., Esmaeili, M. and R, Abbasi. 2016. Response of soybean to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. *Journal of experimental biology and agricultural sciences*, 4(1): 37-46.
14) Hirai, M., Higuchi, K., Sasaki, K., Suzuki, H., Maruyama, T., Yoshiba, T. and T, Tadano. 2007. Contribution of iron associated with high molecular weight substances to the maintenance of the SPAD value of young leaves of barley under iron deficient conditions. *Plant and Soil Science*, 53: 612- 620.
15) Jafari, F., Gholchin, A. and S, Shafiei. 2014. Effect of foliar application of nitrogen and amino chelated iron on growth and yield of *Anethum graveolens*. *Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5(17): 1-12.
16) Javanmard, A., Rahimi, M., Amani Machiani, M., Janmohammadi, M. and R, Habibi Machiani, 2022. Effects of nutrients foliar application on quantity and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil under different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(4): 651-668.
17) Mahdi Nezhad, N., jamalpour, H., fakheri, B. and H, Azad. 2019. The study of the response of some physiological characteristics and grain yield of Purslane (*Portulaca Oleracea* L.) cultivars to drought stress and foliar application of chelated nano iron. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 14(54): 74-89.
18) McDonald, S. Prenzler, PD. Autolovich, M and K, Robards. 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry*, 73: 73-84.
19) Muzolf-Panek, M., Kleiber, T. and A, Kaczmarek. 2017. Effect of increasing manganese concentration in nutrient solution on the antioxidant activity, vitamin C, lycopene and polyphenol contents of tomato fruit. *Food Additives and Contaminants*, 34:379-389.
20) Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S.N., Najafi, N. and K, Ghassemi-Golezani. 2010. Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 4(17): 1733 – 37.
21) Pandey, A. C., Sanjay, S. S. and R. S, Yadav. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. *Journal of Experience Nano Science*, 5: 488-497
22) Soleimani, R., Nourgholipour, F. and F, Moshiri. 2017. Effect of foliar application of Zn, Fe and Mn on seed yield and micronutrient contents of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(1): 1-12.
23) Soroori, S. and E, Danaee. 2023. Effects of Foliar Application of Citric Acid on Morphological and Phytochemical Traits of *Calendula officinalis* L. under Drought Stress Conditions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(4): 361-374.

24) Yadegari, M. 2017. Effects of Zn, Fe, Mn and Cu Foliar Application on Essential Oils and Morpho-Physiological Traits of Lemon Balm (*Melissa Officinalis* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(2): 485-495.
25) Yousefzadeh, S., Naghdi Badi, H., Sabaghnia, N. and M, Janmohammadi. 2016. The Effect of Foliar Application of Nano-iron Chelate on Physiological and Chemical Traits of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Medicinal. Plants*, 15(60): 152-160.