اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان عناصر و فعالیت آنزیمی گیاه نعناع فلفلی(*Mentha piperita*)

حمیدرضا باقری[۱]، علیرضا لادن‌مقدم (نویسنده مسئول)[۲*]، الهام دانائی[۳] و وحید عبدوسی[٤]

۱- دانشجوی دکتری، گیاهان دارویی ادویه‌ای و نوشابه‌ای، گروه علوم باغبانی، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران، hamid_130654@yahoo.com

۲*- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، ladanmoghadam.Alireza@gmail.com

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، dr.edanaee@yahoo.com

٤- استادیار، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، Abdossi@yahoo.com

تاریخ دریافت: بهمن ۱٤۰۰ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱٤۰۱

The effect of iron, potassium, calcium and manganese nano chalate spray on the amount of elements and enzymatic activity *Mentha piperita*

Hamidreza bagheri[1], Alireza Ladan Moghaddam (Corresponding author)[2*], Elham Danaee[3]and Vahid Abdossi[4]

1- Ph.D student, Medicinal plant, Department of Horticultural Sciences, Aliabad katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad katoul, Iran, hamid_130654@yahoo.com

*2- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, ladanmoghadam.Alireza@gmail.com

3- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, dr.edanaee@yahoo.com

4- Assistant professor, Department of Horticulture and Agronomy, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Abdossi@yahoo.com

Received: February 2022 Accepted: May 2022

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان عناصر و فعالیت آنزیمی گیاه نعناع فلفلی(*Mentha piperita*)، بصورت طرح کاملاً تصادفی، طراحی و اجرا شد. محلول‌پاشی گیاهان با سه سطح از نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز(۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر) صورت گرفت که این آزمایش شامل ۱۳ تیمار، هر کدام با ۳ تکرار، هر تکرار حاوی ۳ گیاه و در مجموع ۱۱۷ گلدان بود. در این طرح نشاهای ٤ تا ٦ برگی نعناع فلفلی در بستر مناسب(پیت‌ماس، ماسه بادی و خاک رس به نسبت ۱:۱:۱) کشت شد. محلول‌پاشی سه مرتبه به فاصله یک هفته انجام و پس از گذشت دو هفته نمونه‌برداری و ارزیابی صفات از جمله فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، میزان آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز و درصد اسانس، انجام شد. نتایج نشان داد که اثر تیمار بر آهن برگ در غلظت‌های مختلف تیماری در سطح ۵٪ و در بقیه صفات مورد ارزیابی در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. همچنین بیشترین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و میزان آهن برگ در تیمار نانوکلات آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین پتاسیم برگ در تیمار نانوکلات پتاسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین منگنز برگ در تیمار نانوکلات منگنز ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان کلسیم برگ در تیمار نانوکلات کلسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر و بالاترین درصد اسانس در تیمار نانوکلات آهن ٤ میلی‌گرم در لیتر بود. کمترین میزان تمام صفات مورد ارزیابی در تیمار شاهد بود.

کلمات کلیدی: آهن، پتاسیم، کلسیم، منگنز، نانوکلات، نعناع فلفلی

Abstract

This study was designed and conducted to investigate the effects of foliar application of Iron, Potassium, Calcium and Manganese nanoparticles on the amount of elements and enzymatic activity of peppermint (*Mentha piperita*) in a completely randomized design in experiments. Plants were sprayed with three levels of Iron, Potassium, Calcium and Manganese nanoclates (2, 4 and 6 ppm) and the experiment consisted of 13 treatments, each with 3 replicates, each replicate containing 3 plants and a total of 117 pots were examined. In this study, 4 to 6 leaflets peppermint transplants were cultured in appropriate media (peatmoss, sand and clay at a ratio of 1: 1: 1). Foliar application was performed three times a week and after two weeks, sampling and evaluation of traits including superoxide dismutase and peroxidase activity, Iron, Ppotassium, Calcium and Manganese content and essential oil percentage were determined. The results showed that in experiment, the effect of treatment on Iron content had significant difference at 5% and other traits at 1%. Also the highest level were observed in traits such as superoxide dismutase and peroxidase enzymes activity and leaf Iron content in iron nanoclates 6ppm treatment, maximum Potassium content in potassium nanoclates 6ppm treatment, highest The amount of Manganese in manganese nanoclates 6ppm treatment, the highest Calcium leaf content in calcium nanoclates 6ppm treatment and the highest essential oil percentage in iron nanoclates 4ppm treatment. The lowest of all traits evaluated was in control treatment.

Keywords: Calcium, Iron, Manganese, *Mentha piperita*, Nano chalate, Potassium

مقدمه و کلیات

در سال‌های اخیر افزایش چشمگیری در مصرف داروهای گیاهی و طب مکمل در کشورهای مختلف جهان از جمله اروپا، ایالات متحده آمریکا و استرالیا رواج یافته است، به طوری که حدود ٦٥-٨٠ درصد مردم دنیا از فرآورده‌های گیاهی استفاده می‌نمایند. در ایران نیز با توجه به پیشینه و سابقه دیرین، میزان استفاده از گیاهان دارویی افزایش یافته است، به طوری که بزرگان علم داروسازی قرن بیست و یکم را به نام قرن بازگشت به طبیعت و قرن استفاده از گیاه دارویی نامگذاری نمودند(Salehiyan *et al.*, 2011). نعناع فلفلی از جمله گیاهان دارویی مهم، گیاهان تیره نعنائیان(Lamiaceae) است که در اکثر نواحی زمین پراکنده بوده، ولی بیشینه انتشار آن‌ها در نواحی مدیترانه می‌باشد. در ایران نیز ٤٧ جنس و حدود ۳۷۰ گونه از گیاهان این خانواده وجود دارد. یکی از مهمترین گونه‌های این خانواده، گونه *Mentha piperita* با نام رایج Peppermint است. نعناع فلفلی مصارف گسترده‌ای در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دارد. براساس مطالعات انجام شده، ماده موثره اصلی گونه *Mentha piperita*، منتول(٥٥-۳۰ درصد) است و از سایر ترکیبات هم می‌توان به متیل استات(١٧/٤ درصد) و منتون(١٢/٧ درصد) پلی‌گن، منتوفوران، لیمونن و لیمون اشاره نمود(Scavroni *et al.*, 2005). گیاهان برای رشد و نمو خود به عناصر غذایی متعدد کم‌مصرف و پرمصرف در برنامه غذایی نیاز دارند که جذب این عناصر بیشتر از طریق ریشه صورت می‌گیرد. عناصر غذایی قابل استفاده برای ریشه‌ی گیاهان به عوامل زیادی بستگی دارد مانند آب و هوا، گونه‌ی گیاهی، نوع پایه، نوع خاک، رطوبت خاک، اکسیژن خاک، pH خاک و مجموع عناصر غذایی موجود در خاک. روش جذب عناصر غذایی نیز بطورکلی به دو صورت جذب غیرفعال و جذب فعال می‌باشد. کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف از جمله آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز به صورت نانو کلات به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد(Cui *et al.*, 2006). استفاده از نانوکلات‌ها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم موجب آزاد شدن عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک می‌شود. جذب کودهایی با این ابعاد راحت‌ترشده و نسبت به کودهای رایج تأثیر بیشتری دارند. علاوه بر آن می‌توان کودهای شیمیایی زیست سازگار ایجاد و از آلودگی محیط زیست و شوری بیش ار حد خاک پرهیز نمود(رضایی و همکاران، ۱۳۸۸). استفاده از نانوکلات‌ها منجر به افزایش کارایی مصرفی عناصرغذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود(نادری و همکاران، ۱۳۹۰). جهت بررسی اثر کاربرد نانوکلات آهن و روی بر خصوصیات کمی، کیفی و رشد ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، آزمایشی بصورت طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار شامل سه سطح نانوکلات آهن و روی ۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر، در ۳ تکرار و هر تکرار حاوی ۳ گیاه و در مجموع ٦۳ گیاه انجام گردید. پس از گذشت حدود ٤ هفته از زمان کشت

بذر ریحان در بستر مناسب، محلول‌پاشی با نانو کلات آهن و روی به مدت یک هفته هر دو روز یک‌بار انجام گردید. گلدان بدون محلول‌پاشی به عنوان شاهد استفاده شد. نتایج نشان داد که تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر آهن بیشترین تاثیر را بهبود صفات کمی، کیفی و رشد گیاه مرزه داشت. نتایج آنالیز آماری صفات مورد ارزیابی بیانگر معنی‌داری تمام صفات بجز میزان روی برگ، در سطح ۱ درصد بود(کنشلو و دانائی، ۱۳۹٦). در آزمایشی اثر محلول‌پاشی کلسیم و بر بر کیفیت و کمیت میوه گوجه‌گیلاسی بررسی شد. نتایج نشان داد که در تیمار محلول‌پاشی کلسیم به همراه بر بیشترین محتوای ویتامین ث، میزان کلسیم و عمر قفسه‌ای در میوه گوجه‌گیلاسی بدست آمد(Zahirul Islam *et al.*, 2016). در پژوهش دیگری اثر کاربرد منگنز، مس، آهن و روی با غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه بادرنجبویه مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد در تیمار منگنز+مس+آهن+روی درصد اسانس به ۷۳/٦٤ درصد افزایش یافت. همچنین بیشترین محتوای کاروفیل، فنل، فلاونوئید، وزن تر و خشک شاخساره و تعداد گل در گیاه نیز در تیمار تیمار منگنز+مس+آهن+روی بدست آمد(Yadegari, 2017). همچنین در آزمایشی اثر کاربرد نیتروژن و پتاسیم با غلظت ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فسفر با غلظت ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در رشد و عملکرد گیاه آویشن وحشی ارزیابی گردید. سنجش وزن تر و خشک، محتوای کلروفیل برگ، عملکرد، درصد و اجزای اسانس نشان داد که تیمار کاربرد نیتروژن+ پتاسیم+فسفر اثر معنی‌داری در بهبود صفات مورد ارزیابی داشت(Janaki *et al.*, 2016). در آزمایشی اثر محلول‌پاشی کلسیم و پتاسیم بر کیفیت، عطر و طعم میوه سیب رقم 'Red Delicious' بررسی گردید. در این آزمایش درختان سیب ۵ مرتبه با محلول کلریدکلسیم ۵ گرم در لیتر و کلریدپتاسیم ۲/۵ گرم در لیتر در طی سه هفته از مرحله تمام گل محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد محتوای آنتوسیانین و کربوهیدرات میوه به طور معنی‌داری تحت تیمار محلول‌پاشی کلسیم و پتاسیم، افزایش یافت(Solhjoo *et al.*, 2017).

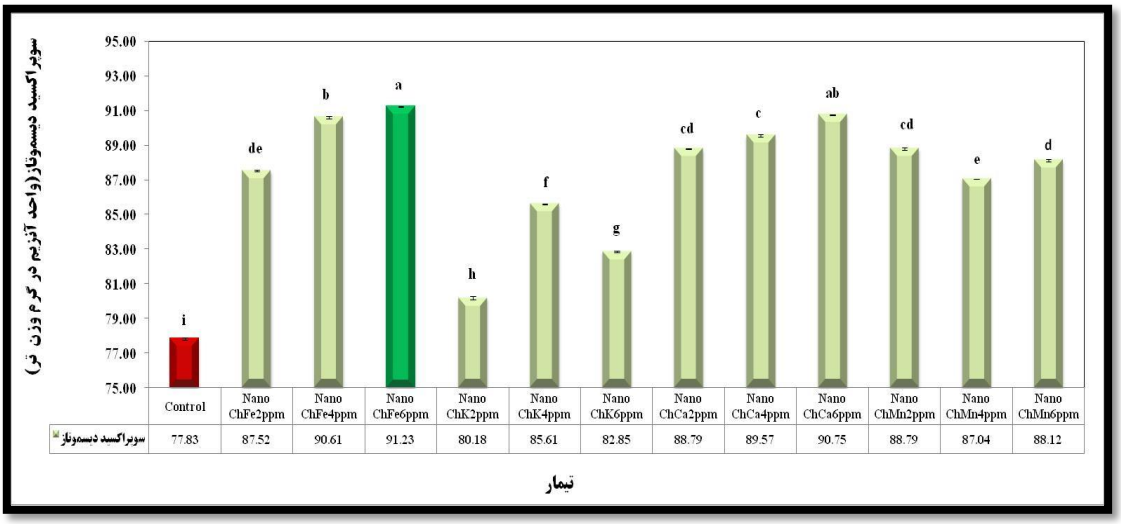
فرآیند پژوهش

پژوهش حاضر در گلخانه‌ای تجاری در شهرستان اسلامشهر با میانگین دمای حدود ۲۲ تا ۲۳ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی حدود ۵۰ تا ٦۰ درصد و شدت نور حدود ٦۰ تا ۷۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، در سال ۱۳۹۷ انجام شد. این تحقیق بصورت طرح کاملاً تصادفی، طراحی و اجرا شد. محلول‌پاشی گیاهان با سه سطح از نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز (۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر) صورت گرفت که این آزمایش شامل ۱۳ تیمار، هر کدام با ۳ تکرار، هر تکرار حاوی ۳ گیاه و در مجموع ۱۱۷ گلدان بود. در این طرح نشاهای ٤ تا ٦ برگی نعناع فلفلی در بستر مناسب(پیت‌ماس، ماسه بادی و خاک رس به نسبت(۱:۱:۱) کشت شد. محلول‌پاشی سه مرتبه به فاصله یک هفته انجام و پس از گذشت دو هفته نمونه‌برداری و ارزیابی صفات انجام شد. جهت سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز ابتدا عصاره آنزیم بر اساس روش

Ezhilmathi و همکاران در سال ۲۰۰۷ از یک گرم برگ تهیه شد. سپس فعالیت آنزیم بر اساس بازداشتن احیاء فتوشیمیایی Nitro-blue tetrazolium(NBT) به روش Bayer and Fridovich در سال ۱۹۸۷ اندازه‌گیری گردید. فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز با اندازه‌گیری تغییرات جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر بر اساس روش Putter(1974) صورت گرفت. میزان آهن و منگنز برگ به روش Florence *et al*, (2002)، میزان پتاسیم و کلسیم برگ طبق روش Mengel and Kirkby در سال ۱۹۷۳ و درصد اسانس با روش Mehrafarin *et al*, (2017) تعیین گردید. پس از گردآوری، داده‌ها وارد نرم‌افزار Excel شده و توسط نرم‌افزار آماری SPSS آنالیز داده‌ها انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ و ۵٪ ارزیابی و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

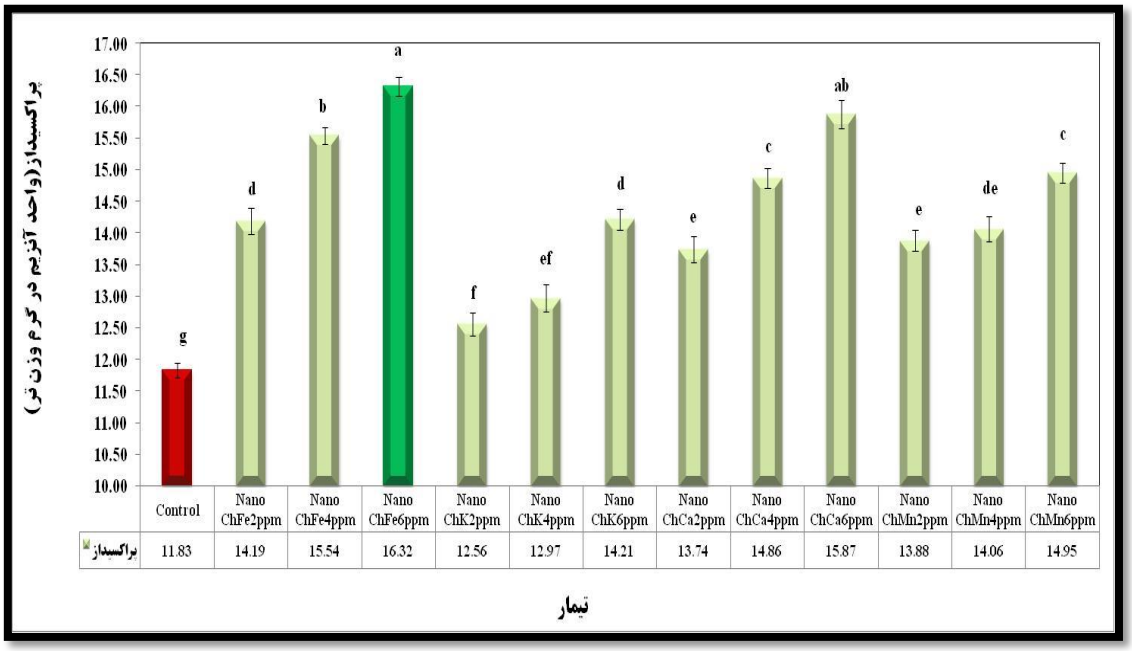
فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: همانطور که در نمودار اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه نعناع فلفلی نمایان است، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با افزایش غلظت نانوکلات آهن از ۲ به ٤ میلی‌گرم در لیتر، افزایش بیشتری در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به افزایش غلظت از ٤ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، بدست آمد، ولی بین غلظت‌های مختلف نانوکلات پتاسیم، نیز به ترتیب از تیمار Nano ChK4ppm به Nano ChK6ppm و Nano ChK2ppm، کاهش یافت. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بین غلظت‌های کاربردی نانوکلات کلسیم، افزایش متناسبی داشت، ولی بین غلظت‌های مختلف نانوکلات منگنز، نیز به ترتیب از تیمار Nano ChMn2ppm به Nano ChMn6ppm و Nano ChMn4ppm، کاهش یافت. تیمار NanoChFe6ppm با ۹۱/۲۳ واحد آنزیم در گرم وزن تر، بیشترین و تیمار Control با ۷۷/۸۳ واحد آنزیم در گرم وزن تر، کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را داشتند(نمودار ۱).



نمودار ۱- تغییرات فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه نعناع فلفلی

Fig 1- Changes in superoxide dismutase activity in *Mentha piperita*

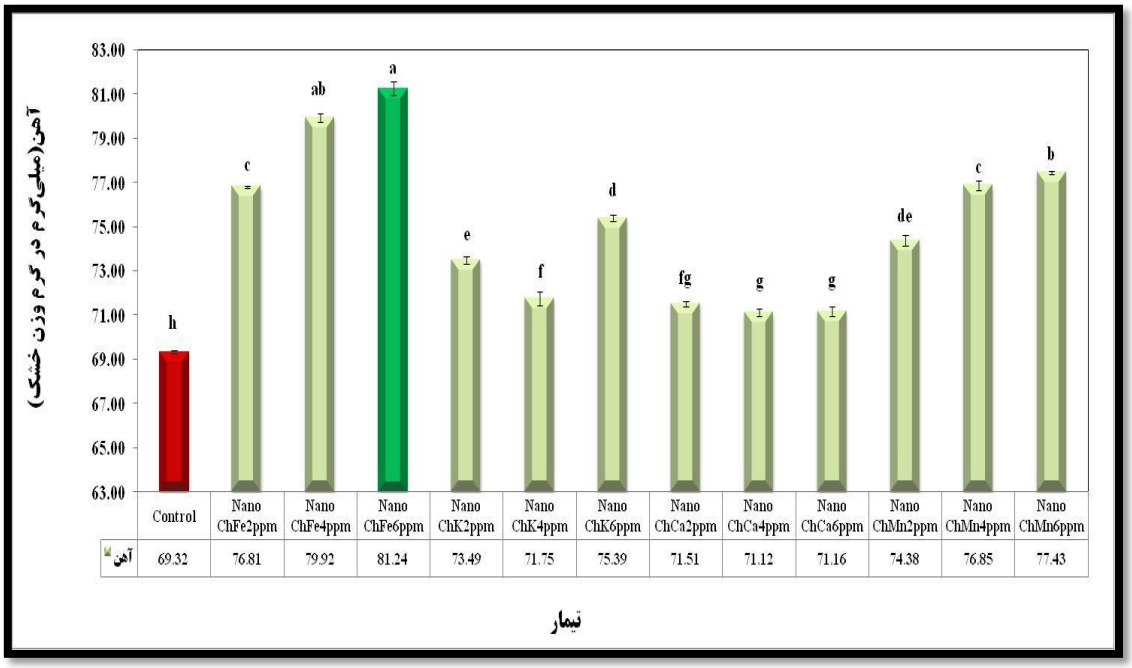
فعالیت آنزیم پراکسیداز: در نمودار اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه نعناع فلفلی نمایان است که فعالیت آنزیم پراکسیداز بین غلظت‌های کاربردی نانوکلات آهن و نانوکلات کلسیم، افزایش متناسبی داشت. با افزایش غلظت نانوکلات پتاسیم و نانوکلات منگنز از ٤ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، افزایش بیشتری در فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به افزایش غلظت از ۲ به ٤ میلی‌گرم در لیتر، بدست آمد. تیمار Nano ChFe6ppm با ۱٦/۳۲ واحد آنزیم در گرم وزن تر، بیشترین و تیمار Control با ۱۱/۸۳ واحد آنزیم در گرم وزن تر، کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را داشتند(نمودار ۲).



نمودار ۲- تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه نعناع فلفلی

Fig 2- Changes in peroxidase activity in Mentha piperita

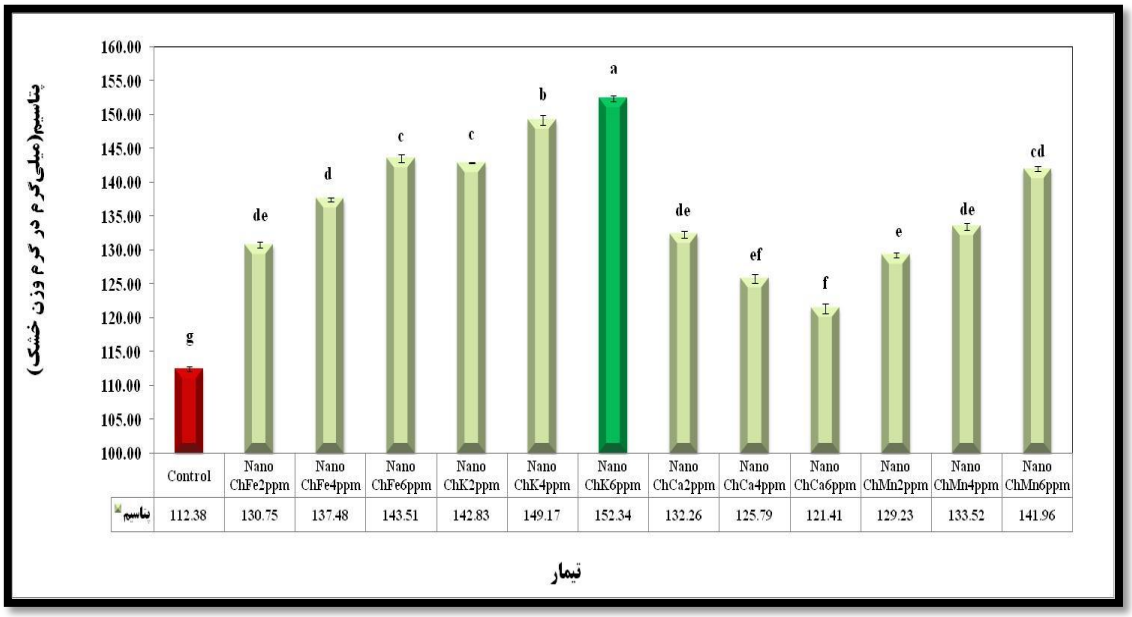
آهن: همانطور که در نمودار اثر تیمارها بر میزان آهن برگ در گیاه نعناع فلفلی نمایان است، با افزایش غلظت نانوکلات آهن از ٤ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، افزایش معنی‌داری در میزان آهن برگ حاصل نشد، ولی با افزایش غلظت از ۲ به ٤ میلی‌گرم در لیتر، تفاوت معنی‌دار بود. بین غلظت‌های مختلف نانوکلات پتاسیم نیز به ترتیب از تیمار Nano ChK6ppm به Nano ChK2ppm و Nano ChK4ppm، کاهش یافت. همچنین در غلظت‌های مختلف نانوکلات کلسیم، میزان آهن برگ به ترتیب از ۲ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، کاهش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها حاصل نشد. میزان آهن برگ بین غلظت‌های کاربردی نانوکلات منگنز افزایش متناسب و معنی‌داری داشت. تیمار Nano ChFe6ppm با ۸۱/۲٤ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، بیشترین و تیمار Control با ٦۹/۳۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، کمترین میزان آهن برگ را داشتند(نمودار ۳).



نمودار ۳- تغییرات میزان آهن برگ در گیاه نعناع فلفلی

Fig 3- Changes in leaf iron content in *Mentha piperita*

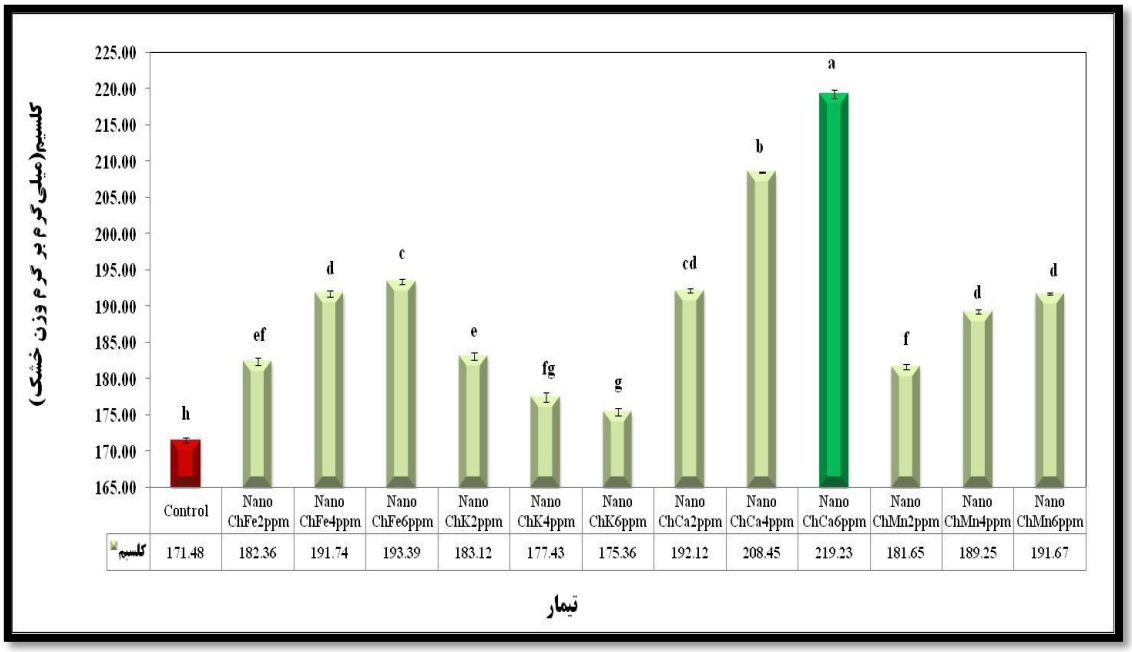
پتاسیم: در نمودار اثر تیمارها بر میزان پتاسیم برگ در گیاه نعناع فلفلی نمایان است که بین غلظت‌های کاربردی نانوکلات آهن، میزان پتاسیم برگ به ترتیب از ۲ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، افزایش یافت، ولی این افزایش غلظت از ۲ به ٤ میلی‌گرم در لیتر، معنی‌دار نبود. افزایش متناسب و معنی‌داری در میزان پتاسیم برگ در غلظت‌های مختلف نانوکلات پتاسیم، بدست آمد. میزان پتاسیم برگ در غلظت‌های مختلف نانوکلات کلسیم از ۲ تا ٦ میلی‌گرم در لیتر، کاهش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها حاصل نشد. همچنین میزان پتاسیم برگ در غلظت‌های مختلف نانوکلات منگنز از ٦ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر، کاهش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها حاصل نشد. تیمار Nano ChK6ppm با ۱۵۳/۳٤ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، بیشترین و تیمار Control با ۱۱۲/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، کمترین میزان پتاسیم برگ را داشتند (نمودار ٤).



نمودار ٤- تغییرات میزان پتاسیم برگ در گیاه نعناع فلفلی

Fig 4- Changes in leaf potassium content in *Mentha piperita*

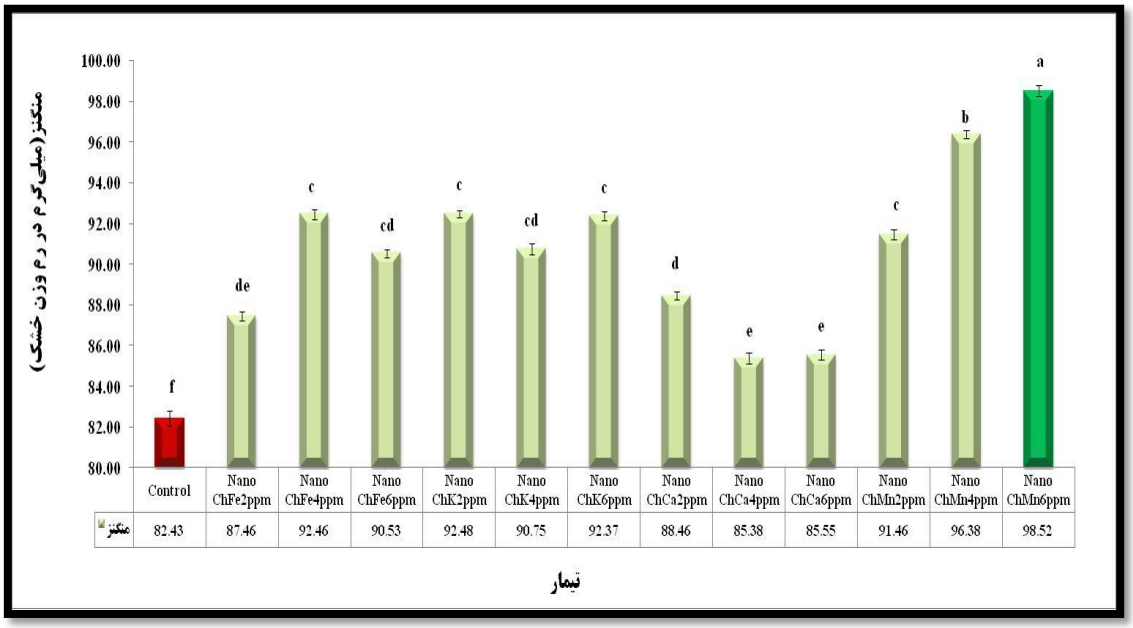
کلسیم: همانطور که در نمودار اثر تیمارها بر میزان کلسیم برگ در گیاه نعناع فلفلی نمایان است، بین غلظت‌های کاربردی نانوکلات آهن، میزان کلسیم برگ به ترتیب از ۲ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، افزایش معنی‌داری داشت. میزان کلسیم در غلظت‌های مختلف نانوکلات پتاسیم از ۲ تا ٦ میلی‌گرم در لیتر، کاهش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر حاصل نشد. همچنین میزان کلسیم برگ در غلظت‌های مختلف نانوکلات کلسیم از ۲ تا ٦ میلی‌گرم در لیتر، افزایش معنی‌داری داشت. در غلظت‌های مختلف نانوکلات منگنز نیز افزایش میزان کلسیم برگ از ۲ تا ٦ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد، ولی این افزایش غلظت از ٤ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، معنی‌دار نبود. تیمار Nano ChCa6ppm با ۲۱۹/۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، بیشترین و تیمار Control با ۱۷۱/٤۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، کمترین میزان کلسیم برگ را داشتند(نمودار ٥).



نمودار ۵- تغییرات میزان کلسیم برگ در گیاه نعناع فلفلی

Fig 5- Changes in leaf calcium content in *Mentha piperita*

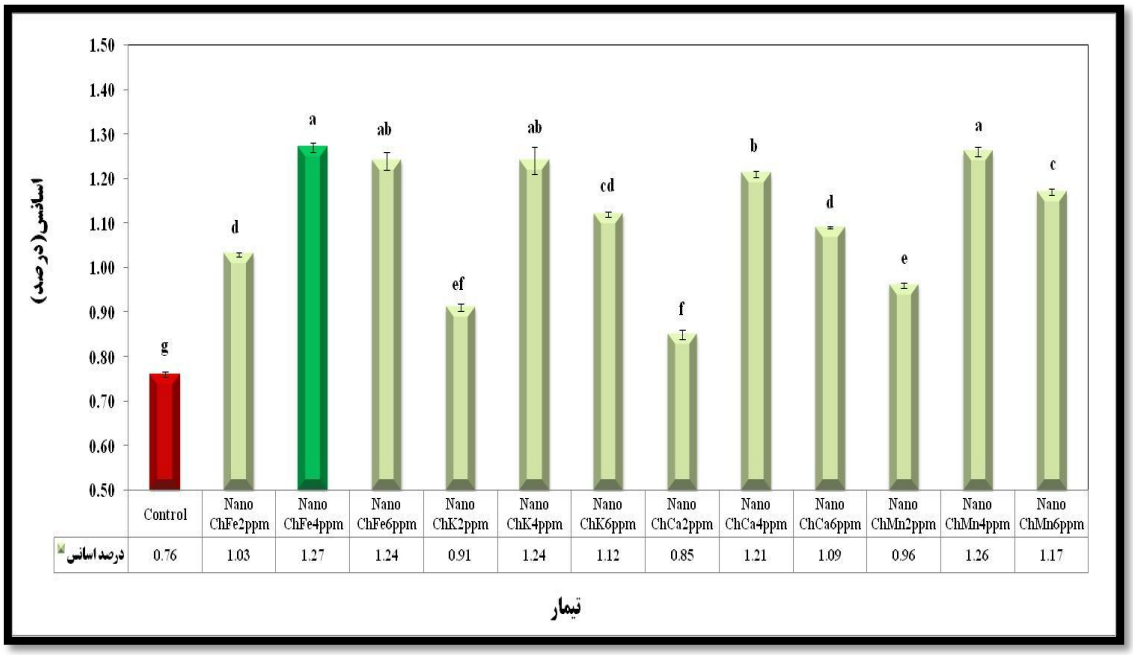
منگنز: در نمودار اثر تیمارها بر میزان منگنز برگ در گیاه نعناع فلفلی نمایان است که بین غلظت‌های مختلف نانوکلات آهن به ترتیب از تیمار Nano ChFe4ppm به Nano ChFe6ppm و Nano ChFe2ppm، کاهش یافت. بین غلظت‌های کاربردی نانوکلات پتاسیم نیز میزان منگنز برگ به ترتیب از تیمار Nano ChK2ppm به Nano ChK6ppm و Nano ChK4ppm، کاهش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نبود. میزان منگنز در غلظت‌های مختلف نانوکلات کلسیم از ۲ به ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر، کاهش یافت، ولی این کاهش بین غلظت ٤ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، معنی‌دار نبود. همچنین بین غلظت‌های مختلف نانوکلات منگنز، افزایش معنی‌داری از ۲ به ٦ میلی‌گرم در لیتر، وجود داشت. تیمار Nano ChMn6ppm با ۹۸/۵۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، بیشترین و تیمار Control با ۸۲/٤۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، کمترین میزان منگنز برگ را داشتند(نمودار ٦).



نمودار ٦- تغییرات میزان منگنز برگ در گیاه نعناع فلفلی

Fig 6- Changes in leaf manganese content in *Mentha piperita*

درصد اسانس: همانطور که در نمودار اثر تیمارها بر درصد اسانس در گیاه نعناع فلفلی نمایان است، بین غلظت‌های مختلف نانوکلات آهن به ترتیب از تیمار Nano ChFe4ppm به Nano ChFe6ppm و Nano ChFe2ppm کاهش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نبود. بین غلظت‌های کاربردی نانوکلات پتاسیم نیز درصد اسانس به ترتیب از تیمار Nano ChK4ppm به Nano ChK6ppm و Nano ChK2ppm، کاهش معنی‌داری نشان داد. همچنین درصد اسانس در غلظت‌های کاربردی نانوکلات کلسیم نیز به ترتیب از تیمار Nano ChCa4ppm به Nano ChCa6ppm و Nano ChCa2ppm، کاهش معنی‌داری نشان داد. در درصد اسانس موجود در غلظت‌های کاربردی نانوکلات منگنز نیز کاهش معنی‌داری به ترتیب از تیمار Nano ChMn4ppm به Nano ChMn6ppm و Nano ChMn2ppm، وجود داشت. تیمار Nano ChFe4ppm با ۱/۲۷ درصد، بیشترین و تیمار Control با ۰/۷٦ درصد، کمترین درصد اسانس را داشتند(نمودار ۷).



نمودار ۷- تغییرات درصد اسانس در گیاه نعناع فلفلی

Fig 7- Changes in essential oil Percentage in *Mentha piperita*

از بین عناصر غذایی، ۱۷ عنصر از جمله عناصر پرمصرف مانند پتاسیم و کلسیم و کم‌مصرف مانند آهن و منگنز برای رشد گیاه ضروری هستند(Liu, 2009). آهن در فرآیندهای اکسیداسیون و احیاء نقش دارد و با تغییر ظرفیت موجب انتقال الکترون می‌شود که این نقش در متابولیسم گیاهی بسیار مهم است. وجود آهن در سنتز پروتئین لازم است و از آنجائی که نقش عمده آهن در سنتز پروتئین‌های همراه کلروفیل است، کمبود آن موجب از کار افتادن کلروفیل می‌شود که به همین علت رنگ زرد ناشی از کمبود آهن رخ می‌دهد. البته به جز رگبرگ‌ها، کل سطح برگ نیز زرد رنگ می‌شود و ابتدا این علائم در برگ‌های جوان و قسمت بالای ساقه مشاهده می‌شود و به تدریج کل گیاه را در برمی‌گیرد(رضایی و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین کلسیم یکی از عناصر غذایی مهم جهت رشد و توسعه ریشه و و ظایف آن است که بعبارت دیگر عرضه مطلوب کلسیم موجب تحریک رشد ریشه‌های موئین و توسعه سیستم ریشه، بهبود رشد، افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌گردد. همچنین کلسیم موجب افزایش استحکام دیواره سلولی و تحمل گیاه در برابر تخریب سلولی ناشی از عوامل بیماریزا می‌شود، پکتات‌کلسیم نیز از مواد تشکیل دهنده لایه‌های میانی دیواره سلولی است. کلسیم در اتصال پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های تشکیل دهنده دیواره سلولی نقش دارد، این عنصر کوفاکتور آنزیم‌های آمیلاز و ATP-ase بوده و در پایداری و مقاومت مکانیکی دیواره سلولی موثر است(Mehran *et al.*, 2008). پتاسیم نیز اهمیت ویژه‌ای در برگ‌های جوان نوک ریشه و بافت‌های مریستمی دارد و تقریباً در تمام فرآیندهای

متابولیسمی گیاه مانند فتوسنتز، ساخت کربوهیدارت‌ها، احیای نیترات، ساخت اسیدآمینه و پروتئین دخالت دارد. این عنصر مانند فعال‌کننده تعدادی آنزیم‌های گیاهی عمل نموده و نقش مهمی در تنظیم تنفس و وضعیت آب سلول‌های گیاهی دارد. همچنین پتاسیم در باز و بسته شدن سلول‌های روزنه نیز مهم بوده و موجب تقویت رشد ریشه می‌شود(پیوندی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین منگنز نیز یکی از عناصر کم‌مصرف ولی ضروری برای رشد و نمو گیاهان است که نقش‌های متعددی در گیاهان دارد، این عنصر برای تولید کلروفیل ضروری بوده و در فرآیندهای آنزیمی، احیای نیترات، متابولیسم پروتئین و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد نقش دارد. منگنز عنصر فعال‌کننده آنزیم‌های موثر در تولید اسیدهای چرب بوده و برای متابولیسم کربوهیدرات و نیتروژن نیز ضروری است. کمبود منگنز مشابه سایر عناصر ریزمغذی بیشتر در خاک‌هایی بروز می‌کند که pH قلیایی دارند و علائم کمبود منگنز به صورت زردشدن مزوفیل و ایجاد لکه‌های رنگ پریده و سبز کم رنگ روی سطح برگ نمایان می‌شود(الله‌وردی مارکده و ماندگاری، ۱۳۹٤). نتایج حاصل از پژوهش با یافته‌های Janaki *et al,* (2016) در مورد اثر کاربرد نیتروژن، پتاسیم و فسفر در رشد و عملکرد گیاه آویشن وحشی، Yadegari (2017) پیرامون اثر کاربرد منگنز، مس، آهن و روی با غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه بادرنجبویه، Zahirul Islam *et al,* (2016) در مورد اثر محلول‌پاشی کلسیم و بر بر کیفیت و کمیت میوه گوجه‌گیلاسی و Solhjoo *et al,* (2017)، پیرامون اثر محلول‌پاشی کلسیم و پتاسیم بر کیفیت، عطر و طعم میوه سیب، مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش آهن، پتاسیم، کلیسم و منگنز به صورت جداگانه روی گیاهان محلول‌پاشی شدند که نتایج بیانگر آن بود که در بیشتر صفات مورد ارزیابی بالاترین سطح عنصر کاربردی موجب بهبود آن صفت گردید. به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و میزان آهن برگ در تیمار نانوکلات آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان پتاسیم برگ در تیمار نانوکلات پتاسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان منگنز برگ در تیمار نانوکلات منگنز ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان کلسیم برگ در تیمار نانوکلات کلسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر و بالاترین درصد اسانس در تیمار نانوکلات آهن ٤ میلی‌گرم در لیتر بود.

منابع

۱) الله‌وردی مارکده، ز و. م، یادگاری. ۱۳۹٤. بررسی اثر مس و منگنز بر میزان ترکیبات ثانویه گیاه دارویی بادرنجبویه(*Melisa officinalis*). همایش بین المللی پژوهش های کاربردی در کشاورزی.

۲) پیوندی، م.، میرزا، م و. ز، کمالی‌جامکانی. ۱۳۹۰. تاثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مرزه(*Satureja hortensis*). مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی مولکولی، ۲(۵): ۲۵-۳۲.

۳) رضایی، م.، لسانی، ح.، بابالار، م و. ع. ر، طلایی. ۱۳۸۵. اثر تنش سدیم، کلرید بر شاخص‌های رشد و میزان عناصر ۵ رقم زیتون. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۷(۲): ۲۹۳-۳۰۱.

٤) کنشلو، ی و. ا، دانائی. ١٣٩٦. اثر کاربرد نانوکلات آهن و روی بر خصوصیات کمی، کیفی و رشد ریحان(*Ocimum basilicum* L.). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار.

٥) نادری، م و. ع، دانش‌شهرکی. ١٣٩٠. کاربرد فناوری نانو در بهینه‌سازی فرمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه فناوری نانو. ١٦٥(٤): ٢٠-٢٢.

6) Bayer, W. F. and I, Fridovich. 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in condition, Annals Biochem, 161: 559–566.

7) Cui, H., Sun, C., Liu, Q., Jiang, J. and W, Gu. 2006. Applications of Nanotechnology in Agrochemical Formulation, Perspectives, Challenges and Strategies, P: 1-6, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China.

8) Ezhilmathi, K., Singh, V., Arora, P.and R. K, Sairam. 2007. Effect of 5-sulfocalicylic acid on antioxidant in relation to vase life of gladiolus cut flower. Plant Growth Regul, 51: 99-108.

9) Florence, V.D., Daniel, E. and A, Badr. 2002. Effect of Copper on growth and photosyntehesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. Plant sci. 163: 53-58.

10) Janaki Pal, J., Adhikari, R. S. and J. S, Negi. 2016.Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Growth and Green Herb Yield of *Thymus serphyllum. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5: 406-410.

11) Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xiao, Q. and Y, Wang. 2009. Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slowor controlled release of fertilizers. Scientia Agricultura Sinica. 39:1598-1604.

12) Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Mirzai Motlagh, M., Salehi, M. and M, Ghiasi Yekta. 2017. Phytochemical and Morphophysiological Responses of Dill(*Anethumgraveolens* L.) to Foliar Application of Potassium Sulfate and Methanol Biostimulant, Journal of Medicinal Plants, 93-109.

13) Mehran, A., Hossein D.G. and A, Tehranifar. 2008. Effects of pre-harvest calcium fertilization on vase life of rose cut flowers cv. Alexander. Acta Horticulture, 804: 215-218.

14) Mengel, K. and E.A, Kirkby. 1973. Principles of Plant Nutrition. 5th 30 - Edition. Kluwer Academic Publishers, Drodrecht, The Netherlands.

15) Salehiyan, T., Safdari, F., Pirak, A. and Z, Atarodi. 2011. Survey of herbal medicine used in the relief of dysmenorrhea in Iranshahr student. J. Herbal Drugs. 1 (4): 57.

16) Scavroni, J., Boaro, C.S.F., Marques, M.O.M. and L.C, Ferreira. 2005. Yield and composition of the essential oil of *Mentha piperita L.*(Lamiaceae) grown with biosolid, Brazilian Journal of Plant Physiology, 17(4): 345-352.

17) Solhjoo, S., Gharaghani, A. and E, Fallahi. 2017. Calcium and Potassium Foliar Sprays Affect Fruit Skin Color, Quality Attributes, and Mineral Nutrient Concentrations of ‘Red Delicious’ Apples. International Journal of Fruit Science, 17.

18) Zahirul Islam, M., Akter Mele, M., Pill Baek, J. and K, Ho-Min. 2016. Cherry tomato qualities affected by foliar spraying with boron and calcium. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 57: 46–52.

19) 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: 485-495.