Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

Effects of foliar application of iron, potassium, calcium, and manganese nanoclates on some morphophysiological traits and nutrient uptake of peppermint (*Mentha piperita*)

Hamidreza Bagheri[1], Alireza Ladan Moghadam[2]*, Elham Danaee[3], Vahid Abdossi[4]

[1] Department of Horticultural Sciences, Aliabad katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad katoul, Iran, Email: hamid_130654@yahoo.com
[2] Department of Horticultural Sciences, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, Email: ladanmoghadam.alireza@gmail.com
[3] Department of Horticulture and Agronomy, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Iran, Email: e.danaee@iau-garmsar.ac.ir
[4] Department of Horticulture and Agronomy, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran, Email: abdossi@srbiau.ac.ir

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 13.03.2021
Revised: 23.05.2021
Accepted: 16.06.2021
Published:24.06.2023

Keywords
Essential Oil
Nano Chelate
Morphophysiologic
Nutrients
Peppermint

Abstract

Owing to the importance of using nanotechnology in sustainable agriculture to increase the quantitative and qualitative yield of agricultural products, this study aimed to investigate the effect of foliar application of iron, potassium, calcium, and manganese nanoparticles on some morphophysiological traits and nutrient uptake of peppermint (*Mentha piperita* L.), a main medicinal plants of the Lamiaceae family, in a completely randomized design with three replications in a greenhouse located in Islamshahr during 2018. Foliar application treatments of iron, potassium, calcium, and manganese nano-chelates included three levels of 2, 4, and 6 mg/L. The foliar treatments were applied in three stages with one week intervals, and sampling was performed to evaluate the traits two weeks after the last treatment. Results showed that the application of nano-chelates significantly increased the evaluated traits compared to the control. The application of iron nano-chelate at 6 mg/L increased fresh and dry weights of shoot and total chlorophyll and iron contents while the highest concentration of essential oil was observed in the treatment with iron nano-chelate (4 mg/L). Also, the highest fresh and dry weights of roots and potassium content were obtained in the treatment with potassium nano-chelate (6 mg/L). Moreover, concentrations of phenol and manganese increased with the applying manganese nano-chelate (6 mg/L), the flavonoids and vitamin C contents increased with applying manganese nano-chelate (4 mg/L), and the highest level of calcium was observed in calcium nano-chelate (6 mg/L) treatment. In sum, according to the results of this study, the application of iron, potassium, calcium, and manganese nano-chelates with concentrations of 4 and 6 mg/L had a positive effect on increasing the productivity of peppermint.

Cite this article as: Bagheri, H.R., Ladan Moghadam, A.R., Danaee, E., Abdossi, V. (2023). Effects of foliar application of iron, potassium, calcium, and manganese nanoclates on some morphophysiological traits and nutrient uptake of peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 70(2): 74-86.

©The author(s)
Doi: 10.30495/iper.2022.690261
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.6.6

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)

حمیدرضا باقری[۱]، علیرضا لادن‌مقدم[۲*]، الهام دانائی[۳]، وحید عبدوسی[٤]

[۱]دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران، رایانامه: hamid_130654@yahoo.com
[۲]دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، رایانامه: ladanmoghadam.alireza@gmail.com
[۳]دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، رایانامه: e.danaee@iau-garmsar.ac.ir
[٤]دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: abdossi@srbiau.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۳/۲٦
تاریخ چاپ: ۱٤۰۲/۰٤/۰۳

واژه‌های کلیدی:
اسانس
نانوکلات
عناصر غذایی
مورفوفیزیولوژیک
نعناع فلفلی

چکیده

با توجه به اهمیت استفاده از نانوتکنولوژی در کشاورزی پایدار جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی، این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) که یکی از مهمترین گیاهان دارویی خانواده نعناعیان می باشد، بصورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در گلخانه‌ای واقع در شهرستان اسلامشهر انجام شد. تیمارهای محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز شامل سه سطح ۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر بودند. محلول‌پاشی گیاهان در سه مرحله و با فواصل یک هفته اعمال گردید و دو هفته پس از آخرین مرحله محلول‌پاشی، نمونه‌برداری جهت ارزیابی صفات موردنظر انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد، کاربرد نانوکلات‌ها بطور معنی‌داری صفات مورد ارزیابی را نسبت به شاهد بهبود بخشید، کاربرد نانو کلات آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل کل و میزان آهن را افزایش داد در حالی که بیشترین میزان اسانس در تیمار نانوکلات آهن ٤ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد، همچنین بیشترین وزن تر وخشک ریشه و میزان پتاسیم در تیمار نانوکلات پتاسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد، میزان فنل و منگنز با کاربرد نانو کلات منگنز ٦ میلی‌گرم در لیتر و میزان فلاونوئید و ویتامین ث با کاربرد نانوکلات منگنز ٤ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت و بالاترین میزان کلسیم نیز در تیمار نانوکلات کلسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر بود. بطورکلی با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز با غلظت ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر اثر مثبتی بر افزایش بهره‌وری نعناع فلفلی دارد.

استناد: باقری، حمیدرضا؛ لادن‌مقدم، علیرضا؛ دانائی، الهام؛ عبدوسی، وحید. (۱٤۰۲). اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*). *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۷۰ (۲)، ۸٦-۷٤.

Doi: 10.30495/iper.2022.690261
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.6.6

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) گیاه دارویی ارزشمندی است که از تلاقی بین گونه‌های *M. spicata* و *M. aquatic* به‌وجود آمده است و بومی مناطق مدیترانه‌ای می‌باشد (Sadat and Ladan Moghadam, 2019). مهمترین اجزای اسانس آن منتول، منتون و منتوفوران است، این گیاه در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و خاصیت ضدباکتری و قارچی، آنتی‌اکسیدانی و ضدتومور آن مورد مطالعه قرارگرفته‌است (Najjarzadeh et al., 2017).

یکی از عوامل تهدید کننده سلامت محصولات باغی و زراعی استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی است، امروزه استفاده از فناوری نانو در تمام عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش است. استفاده از نانو کودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم موجب آزاد شدن عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک می‌شود. علاوه بر آن می‌توان کودهای شیمیایی زیست سازگار ایجاد و از آلودگی محیط زیست و شوری خاک جلوگیری نمود (Danaee and Abdossi, 2019).

کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف از جمله آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز به‌صورت نانوکلات ضمن کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند در دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست موثر باشد (Cui et al., 2006). آهن یکی از عناصر ضروری است که در فتوسنتز و تنفس میتوکندری‌ها فعال بوده و بر مقادیر کلروفیل اثر می‌گذارد، همچنین پتاسیم نقش حیاتی در فتوسنتز دارد و موجب افزایش مستقیم رشد و شاخص سطح برگ و جذب CO_2 و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خارج برگ می‌شود (Gardner et al., 2011). کلسیم نیز بر افزایش فتوسنتز و تقسیم سلولی و استحکام دیواره‌های سلولی نقش موثری دارد (Khosravi mashizi and Sarcheshmepour, 2015)، همچنین منگنز 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 (Muzolf-Panek et al., 2017). تحقیقات متعددی اثر نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز را بر افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاهان گزارش نمودند، برای مثال، Askary و همکاران (۲۰۱۷)، افزایش پارامترهای رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای پروتئین، میزان فسفر، پتاسیم و آهن را با کاربرد نانوکلات آهن در گیاه گلرنگ (*Catharanthus roseus*) گزارش نمودند، در پژوهشی دیگر نتایج Danaee و Abdossi (۲۰۱۹)، پیرامون اثر نانوکلات آهن، پتاسیم و روی بر فعالیت آنزیمی و ارزش غذایی برخی از سبزی‌های برگی نشان داد، کاربرد نانوکلات آهن موجب افزایش محتوای کلروفیل کل و اسیدآسکوربیک در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) و جعفری (*Petroselinum hortense* Hoffm.) و افزایش محتوای پروتئین، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پرکسیداز و میزان آهن در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) گردید، همچنین کاربرد نانوکلات پتاسیم، میزان پتاسیم را در شنبلیله و نانوکلات روی میزان روی را در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) افزایش داد. مطالعات Yadegari (۲۰۱۷) نشان داد، کاربرد نانوکلات آهن، روی، منگنز و مس میزان وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد گل، میزان فنل، فلاونوئید و اسانس را در گیاه بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L.) افزایش داد.

با توجه به اهمیت دارویی گیاه نعناع فلفلی و تاثیر مثبت عناصر ضروری بر فتوسنتز و افزایش رشد و عملکرد گیاهان، هدف از این تحقیق بررسی اثر سطوح مختلف نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و

منگنز بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای تجاری واقع 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 اجرا شد. در ابتدا نشاهای ٤ تا ٦ برگی تهیه شده از پژوهشکده جهاد دانشگاهی، دانشگاه تهران در بستر مناسب (پیت‌ماس، ماسه بادی و خاک رس) با نسبت ۱-۱-۱ در داخل گلدان‌ها کشت شدند، محلول‌پاشی نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز (۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم درلیتر) در سه مرحله و با فواصل یک هفته اعمال گردید. همچنین گلدان بدون اعمال تیمار نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و سپس در مرحله مناسب (دو هفته پس از آخرین مرحله محلول‌پاشی) نمونه برداری انجام شد و صفات مورد نظر ارزیابی گردید.

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها در آون ٦۰ درجه نگهداری شدند و در نهایت وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم توزین شد (Danaee and Abdossi, 2021a).

کلروفیل کل: محتوای کلروفیل کل با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری در طول موج‌های ٦٦۳ نانومتر برای کلروفیل a و ٦٤٥ نانومتر برای کلروفیل b بر اساس روش شرح داده شده توسط Mirzaei و همکاران (۲۰۲۰)، اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

فنل کل: میزان فنل کل با استفاده از عصاره متانولی برگ و معرف فولین-سیکالچیو اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف سنجی نوری در طول موج ۷٦۰ قرائت شد برحسب میلی‌گرم (گالیک اسید) بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Khorsandi Aghaii et al., 2020).

فلاونوئید: میزان فلاونوئید با استفاده از عصاره متانولی برگ اندازه‌گیری و جذب نمونه‌ها در طول موج ٤۱۵ نانومتر قرائت گردید و در نهایت برحسب میلی‌گرم (کوئرستین) بر گرم وزن تر برگ بیان شد (Danaee and Abdossi, 2021b).

ویتامین ث: میزان ویتامین ث به روش تیتریمتری مطابق روش Soroori و همکاران (۲۰۲۱)، برحسب میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد.

آهن، کلسیم، پتاسیم و منگنز: از بافت‌های گیاهی تمیز شده که در داخل آون با دمای ۸۵ درجه به مدت ٤ ساعت به‌صورت کامل خشک شده‌اند، جهت اندازه‌گیری عناصر استفاده گردید (Danaee and Abdossi, 2019). میزان آهن برگ با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Analyst 700, Perkin Elmer, USA) (Mahdi nezhad et al., 2002). میزان کلسیم و پتاسیم برگ توسط دستگاه فلایم‌فتومتر (Jenway انگلستان) (Torabi-Giglou et al., 2019). میزان منگنز برگ با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) اندازه‌گیری (Florence et al., 2002) و در نهایت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بیان شدند.

اسانس: استخراج اسانس توسط دستگاه کلونجر (Shimadzu modelQP5050A) انجام شد و بر حسب

درصد وزنی در صد گرم ماده خشک بیان گردید (Mirzaei et al., 2020).

محاسبات آماری توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel (۲۰۱۶) انجام شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

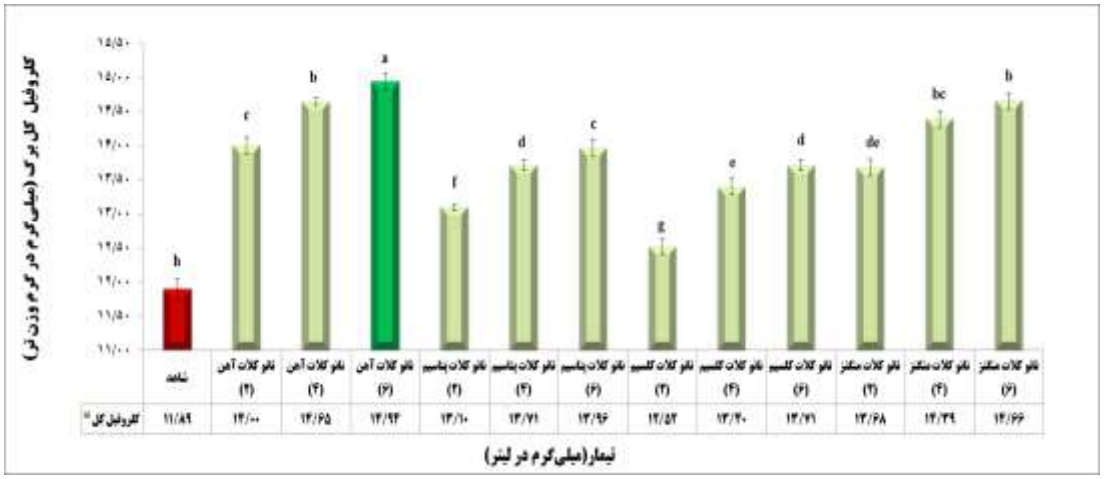
وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، تیمارهای محلول‌پاشی بطور معنی‌داری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه را افزایش داد. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی با ۲۱/۳۲ و ۷/۴۳ گرم در بوته به‌ترتیب در تیمار نانوکلات آهن ۶ میلی‌گرم در لیتر و کمترین وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب با ۱۵/۴۳ و ۵/۲۷ گرم در بوته در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین بیشترین و کمترین وزن تر ریشه به ترتیب با ۱۶/۴۹ و ۷۰/۶۰ گرم در بوته در تیمار نانوکلات پتاسیم ۶ میلی‌گرم در لیتر و کمترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با ۱۲/۶۵ و ۵/۱۸ گرم در بوته در تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۱).

جدول ۱: اثر سطوح مختلف نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نعناع فلفلی

تیمار	غلظت (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)
شاهد	۰	۱۵/۴۳^{h}	۵/۲۷^{h}	۱۲/۶۵^{g}	۵/۱۸^{h}
نانوکلات آهن	۲	۱۷/۹۱^{e}	۶/۱۹^{e}	۱۳/۶۸^{ef}	۶/۰۳^{f}
	۴	۲۰/۶۶^{b}	۷/۰۷^{bc}	۱۴/۸۹^{cd}	۶/۸۲^{d}
	۶	۲۱/۳۲^{a}	۷/۴۳^{a}	۱۵/۵۵^{bc}	۷/۱۴^{bc}
نانوکلات پتاسیم	۲	۱۶/۵۲^{g}	۵/۶۱^{gh}	۱۴/۰۵^{e}	۶/۸۴^{d}
	۴	۲۰/۷۹^{b}	۷/۳۰^{ab}	۱۵/۷۱^{b}	۷/۲۸^{b}
	۶	۱۷/۶۵^{ef}	۶/۱۰^{ef}	۱۶/۴۹^{a}	۷/۶۰^{a}
نانوکلات کلسیم	۲	۱۶/۵۸^{g}	۵/۷۵^{g}	۱۳/۴۳^{f}	۵/۷۸^{g}
	۴	۱۸/۳۷^{d}	۶/۴۰^{d}	۱۴/۹۶^{cd}	۶/۵۴^{e}
	۶	۱۹/۰۱^{cd}	۶/۴۹^{d}	۱۵/۲۴^{c}	۶/۹۳^{c}
نانوکلات منگنز	۲	۱۷/۲۳^{f}	۶/۰۰^{f}	۱۳/۲۴^{f}	۵/۸۱^{g}
	۴	۱۹/۶۴^{c}	۶/۹۷^{c}	۱۴/۷۰^{d}	۶/۸۹^{d}
	۶	۲۰/۹۷^{ab}	۷/۲۸^{b}	۱۵/۵۲^{bc}	۷/۱۱^{bc}

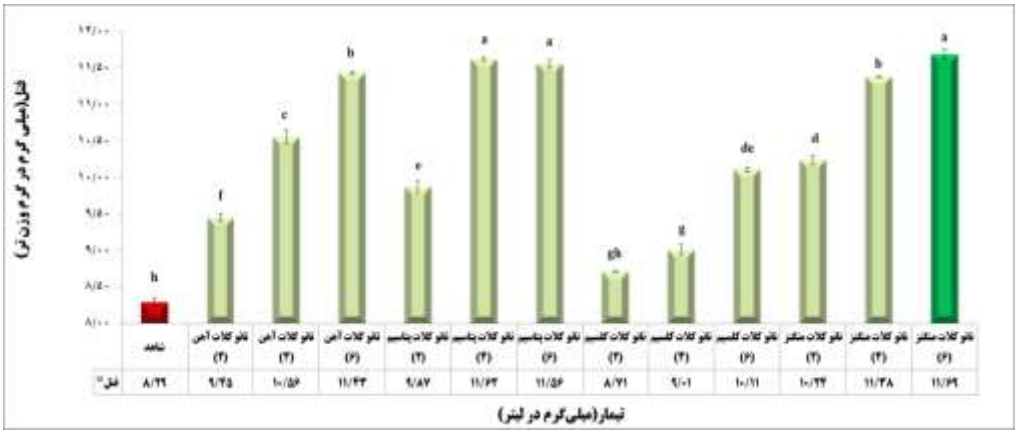
*حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq0.05$ است

کلروفیل کل: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، کاربرد تیمارهای نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز محتوای کلروفیل کل برگ را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد و با بالا رفتن غلظت محلول‌پاشی‌ها محتوای کلروفیل کل نیز افزایش یافت. بیشترین و کمترین کلروفیل کل برگ به‌ترتیب با ۱۴/۹۳ و ۱۱/۸۹ میلی‌گرم در گرم در تیمار نانوکلات آهن ۶ میلی‌گرم در لیتر و شاهد بدست آمد (شکل ۱).



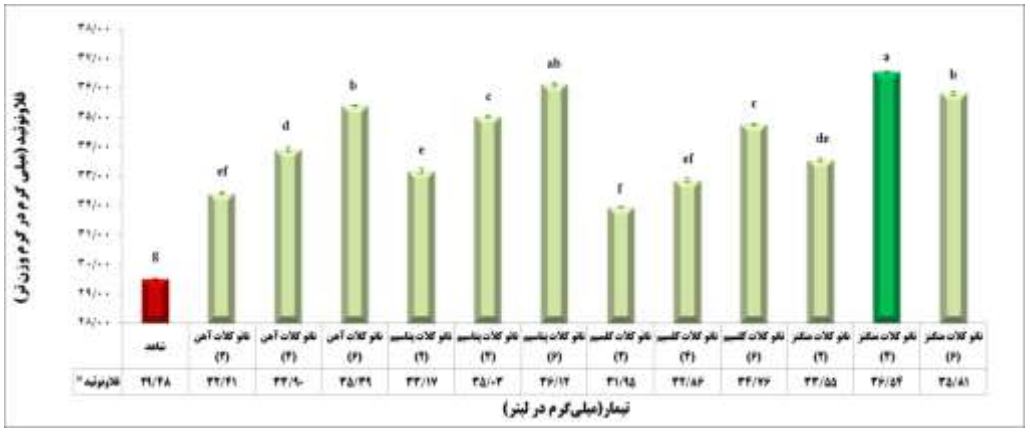
شکل ۱: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر محتوای کلروفیل کل نعناع فلفلی

فنل: نتایج نشان داد، اثر تیمار بر میزان فنل در غلظت‌های مختلف تیمارهای محلول‌پاشی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و با افزایش غلظت تیمارهای محلول‌پاشی میزان فنل نیز افزایش یافت. همانطور که در شکل ۲ نمایان است، بیشترین میزان فنل با ۱۱/٦۹ میلی‌گرم در گرم مربوط به تیمار نانوکلات منگنز ٦ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۸/۲۹ میلی‌گرم در گرم در تیمار شاهد بود.



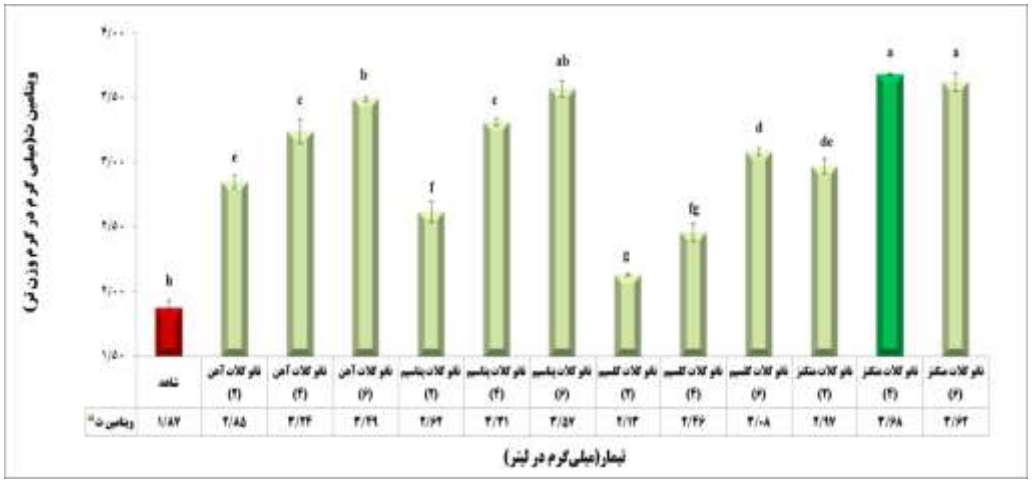
شکل ۲: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان فنل نعناع فلفلی

فلاونوئید: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بطور معنی‌داری میزان فلاونوئید را افزایش داد. بیشترین فلاونوئید با ۳٦/٥٤ میلی‌گرم در گرم مربوط به تیمار نانوکلات منگنز ٤ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۲۹/٤۸ میلی‌گرم در گرم در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۳).



شکل ۳: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان فلاونوئید نعناع فلفلی

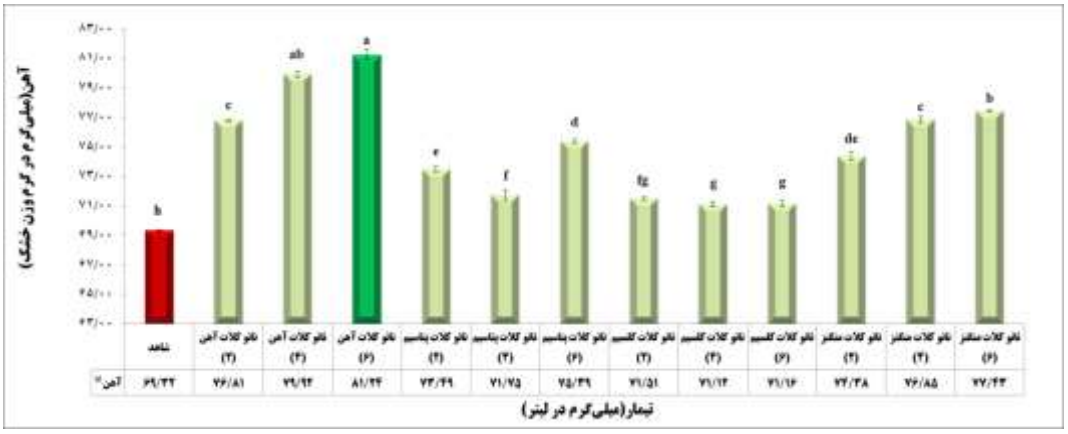
ویتامین ث: نتایج نشان داد، میزان ویتامین ث بطور معنی‌داری تحت محلول‌پاشی با نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز افزایش یافت. همانطور که در شکل ٤ نمایان است، بیشترین ویتامین ث با ۳/٦۸ میلی‌گرم بر گرم در تیمار نانوکلات منگنز ٤ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۱/۸۷ میلی‌گرم در گرم در تیمار شاهد مشاهده شد.



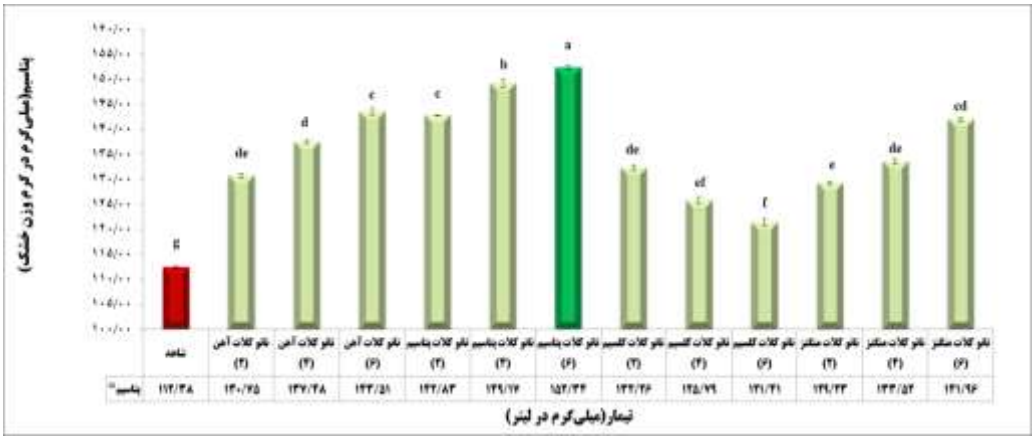
شکل ٤: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان ویتامین ث نعناع فلفلی

آهن: بررسی داده‌ها نشان داد، اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر میزان آهن در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین و کمترین میزان آهن به ترتیب با ۸۱/۲٤ و ٦۹/۳۲ میلی‌گرم در گرم در تیمار نانوکلات آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر و شاهد بدست آمد (شکل ۵).

پتاسیم: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، تیمار محلول‌پاشی نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بطور معنی‌داری جذب پتاسیم را نسبت به شاهد افزایش داد، همانطور که در شکل ٦ نمایان است، بیشترین میزان پتاسیم گیاه با ۱۵۲/۳٤ میلی‌گرم در گرم در تیمار نانوکلات پتاسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۱۱۲/۳۸ میلی‌گرم در گرم در تیمار شاهد مشاهده شد.

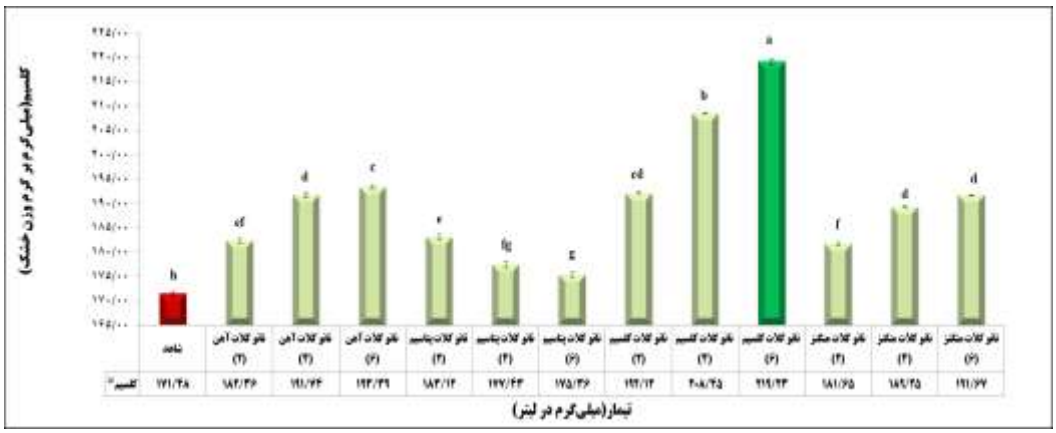


شکل ۵: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان آهن نعناع فلفلی



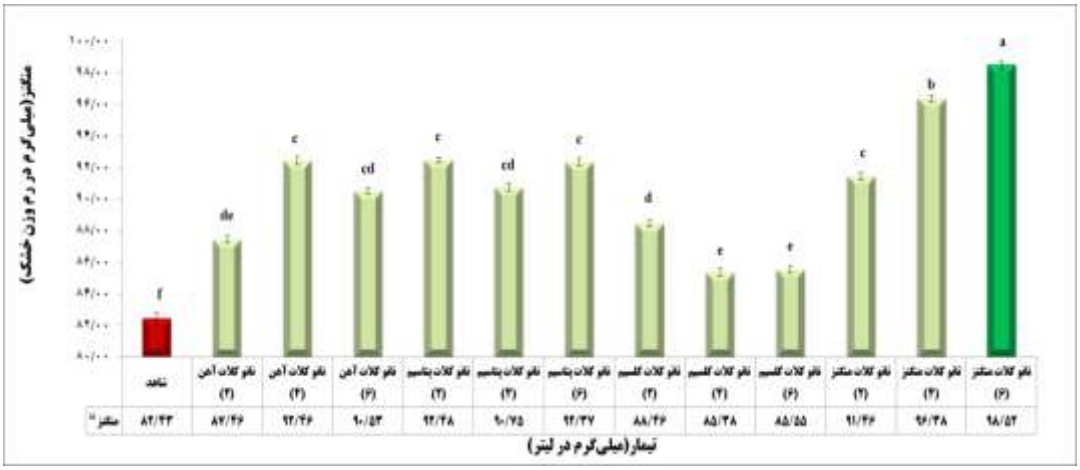
شکل ٦: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان پتاسیم نعناع فلفلی

کلسیم: بررسی‌ها نشان داد، محلول‌پاشی گیاه با تیمار نانوکلات‌ها بطور معنی‌داری میزان کلسیم را افزایش داد. بیشترین میزان کلسیم با ۲۱۹/۲۳ میلی‌گرم در گرم در تیمار نانو کلسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۱۷۱/٤۸ میلی‌گرم در گرم در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۷).



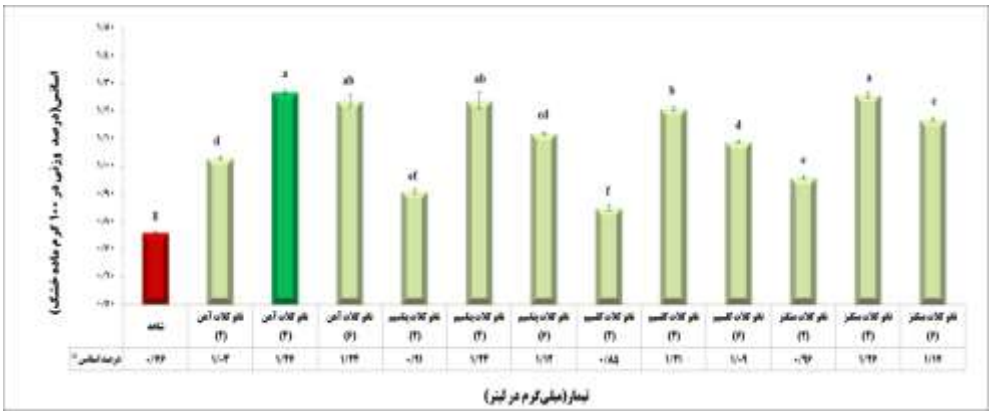
شکل ۷: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان کلسیم نعناع فلفلی

منگنز: بررسی داده‌ها نشان داد، تیمارهای محلول‌پاشی بطور معنی‌داری میزان منگنز را در گیاه افزایش داد. بیشترین میزان منگنز با ۹۸/۵۲ میلی‌گرم در گرم در تیمار نانوکلات منگنز ٦ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۸۲/٤۳ میلی‌گرم در گرم در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۸).



شکل ۸: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان منگنز نعناع فلفلی

اسانس: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، محلول‌پاشی گیاه با غلظت‌های مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز میزان اسانس را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد، بیشترین میزان اسانس با ۱/۲۷ درصد در تیمار نانوکلات آهن ٤ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۰/۷٦ درصد در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۹).



شکل ۹: اثر سطوح مختلف نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز بر میزان اسانس نعناع فلفلی

بحث

استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان یکی از مهمترین کابردهای فناوری نانو در زمینه تولید محصولات کشاورزی می‌باشد، نانوکودها با افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و کاهش سمیّت خاک موجب به حداقل رساندن اثرات منفی ناشی از مصرف کودها و تعداد دفعات کاربرد آن‌ها می‌گردد (Hashemi et al., 2018). در پژوهش حاضر کاربرد نانو کلات آهن موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه گردید، پژوهشگران بیان نمودند که رابطه

خطی معنی‌داری بین غلظت آهن و عملکرد گیاه وجود دارد. بطوریکه در اثر مصرف آهن، محتوای کلروفیل، فتوسنتز و رشد رویشی گیاه افزایش یافته و این امر موجب بالا رفتن سطح کربن‌گیری و در نتیجه افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (Amaliotis et al., 2002). نتایج این آزمایش با نتایج Peyvandi و همکاران (۲۰۱۵)، پیرامون اثر نانوکلات آهن بر افزایش وزن تر و خشک برگ در گیاه ریحان و Jafari و همکاران (۲۰۱٤) در گیاه شوید مطابقت داشت. نتایج نشان داد، کاربرد نانو کلات پتاسیم موجب بهبود وزن تر و خشک ریشه گردید، وجود غلظت کافی نانوکلات پتاسیم در محیط ریشه نقش موثری در افزایش رشد و عملکرد آن دارد. نقش پتاسیم در بزرگ و طویل شدن سلول‌ها، با غلظت آن در واکوئل‌ها ارتباط دارد، همچنین رابطه تنگاتنگی بین پتاسیم، رشد بافت‌های مریستمی و نیز تقویت اثر این عنصر بر هورمون‌های رشد نظیر جیبرلین و اکسین وجود دارد (Tavan et al., 2014) و در نتیجه موجب تقویت و افزایش وزن تر وخشک ریشه می‌گردد. نتایج این آزمایش با نتایج Rezaeinia و همکاران (۲۰۱٦)، در گیاه ریحان مطابقت داشت. محتوی کلروفیل یکی از مهم‌ترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در این پژوهش کاربرد نانو کلات آهن محتوای کلروفیل گیاه را افزایش داد و علت آن را می‌توان به تأثیر نانوکلات آهن بر ساخت پیش‌سازهای سنتز کلروفیل و همچنین بهبود شرایط تغذیه‌ای و فتوسنتز نسبت داد (Yousefzadeh et al., 2016). مطابق با یافته‌های این پژوهش نتایج، Danaee و Abdossi (۲۰۱۹)، در گیاه مرزه و جعفری و Yousefzadeh و همکاران (۲۰۱٦)، در گیاه بادرشبو اثر نانوکلات آهن بر افزایش محتوای کلروفیل کل گیاه را گزارش نمودند. بررسی داده‌ها نشان داد، کاربرد نانو کلات منگنز میزان فنل را افزایش داد، علت آن را می‌توان به نقش منگنز در فرآیندهای آنزیمی، احیای نیترات، متابولیسم پروتئین و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و حفظ آنتی اکسیدان‌ها نسبت داد (Allahverdi Markadeh and Yadegari, 2015). Yadegari (۲۰۱۵)، اثر نانوکلات منگنز را بر افزایش میزان فنل گل گاوزبان و همیشه بهار را گزارش نمودند. نتایج نشان داد، میزان فلاونوئید با کاربرد نانو کلات منگنز افزایش یافت. منگنز به عنوان فعال‌کننده برخی آنزیم‌ها مانند دکربوسیلازها، دهیدرژنازها و ترانسفرازها، بطور غیرمستقیم در چرخه تری کربوکسیلیک اسید در مسیر اسید شیکمیک دخیل است که منجر به سنتز اسیدآمینه‌های معطر توسط تشکیل فنونیک اسید و در نهایت سنتز فلاونوئیدها می‌شود (Muzolf-Panek et al., 2017). تحقیقات Yadegari (۲۰۱۵) نشان داد، منگنز نقش بسیار مهمی در تولید فلاونوئیدها داشته و محلول‌پاشی منگنز در گیاه گل گاو زبان و همیشه بهار موجب افزایش میزان فلاونوئید گردید. در پژوهش حاضر کاربرد نانو کلات منگنز موجب افزایش میزان ویتامین ث گردید، مطابق با یافته‌های این پژوهش Mahmoodi و همکاران (۲۰۲۰)، اثر مثبت کاربرد نانوکلات منگنز بر میزان اسید آسکوربیک را در انگور رقم بی‌دانه سفید گزارش نمودند. دلیل افزایش میزان ویتامین ث تحت محلول‌پاشی با نانوکلات منگنز می‌تواند مربوط به نقش منگنز در فرآیندهای آنزیمی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد باشد (Allahverdi Markadeh and Yadegari, 2015). بررسی داده ها نشان داد، کاربرد نانو کلات آهن میزان جذب آهن را در گیاه افزایش داد، یافته‌های Jafari و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد، در گیاه شوید کاربرد نانوکلات آهن موجب افزایش جذب آهن گردید آن‌ها دلیل آن را به نقش آهن در ساخت پروتئین‌های هِم (پیشنیاز ساخت کلروفیل) و پروتئین‌های آهن و گوگرد دار

مانند فرودوکسین گزارش نمودند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. نتایج بررسی ها نشان داد، میزان جذب پتاسیم با کاربرد نانو کلات پتاسیم افزایش یافت، زیرا وجود غلظت کافی نانوکلات پتاسیم منجر به توسعه ریشه می‌شود و به دنبال آن موجب بهبود جذب و افزایش فراهمی پتاسیم می‌گردد (Tavan et al., 2014). تحقیقات انجام شده در گیاه شنبلیله نشان داد، کاربرد نانوکلات پتاسیم میزان جذب پتاسیم را افزایش داده است (Danaee and Abdossi, 2019). نتایج این پژوهش نشان داد، کاربرد نانو کلات کلسیم میزان جذب کلسیم را در گیاه افزایش داد، با توجه به این که کلسیم به فرم نانوکلات کلسیم به خاک اضافه شده است، حلالیت و در نتیجه قابلیت دسترسی آن در خاک بیشتر می‌شود، مطابق با یافته‌های این پژوهش Ghahremani و همکاران (۲۰۱۳)، در گیاه ریحان و Salehi و همکاران (۲۰۱۸)، در گل لادن افزایش جذب کلسیم را تحت محلول‌پاشی با نانوکلات کلسیم گزارش نمودند. بررسی داده‌های پژوهش نشان داد، کاربرد منگنز موجب افزایش جذب منگنز در گیاه گردید. منگنز در گیاه نقش مهمی در فرآیندهای اکسیداسیون و احیا در گیاه دارد و با توجه به اینکه منگنز جز عناصر کم‌تحرک است، محلول‌پاشی آن نیاز گیاه را فراهم کرده است و میزان جذب آن در گیاه افزایش یافته است (Dare Ghaedi et al., 2012). Soleiman و همکاران (۲۰۱۷)، افزایش جذب منگنز را تحت محلول‌پاشی با نانوکلات منگنز در گیاه گلرنگ گزارش نمودند. در این پژوهش، میزان اسانس با کاربرد نانو کلات آهن افزایش یافت، با توجه به نقش کلیدی آهن در فرآیند فتوسنتز، احتمالاً کاربرد آن با بهبود فتوسنتز سبب افزایش میزان اسانس گیاه شده است، همچنین به دلیل تاثیر آهن بر متابولیسم گیاه و فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، تنفس نوری و محتوای کلروفیل، فراهمی این عنصر می‌تواند در تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر باشد (Nasiri et al., 2010). نتایج این تحقیق با نتایج Yousefzadeh و همکاران (۲۰۱۶)، در گیاه بادرشبو و Peyvandi و همکاران (۲۰۱۵)، در گیاه ریحان مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج پژوهش نشان داد محلول‌پاشی نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز تاثیر مثبتی بر صفات مورد ارزیابی داشت. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل کل و میزان آهن در تیمار نانوکلات آهن ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین وزن تر و خشک ریشه و میزان پتاسیم در تیمار نانوکلات پتاسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد، همچنین بیشترین میزان فنل و منگنز در تیمار نانوکلات منگنز ٦ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان فلاونوئید و ویتامین ث در تیمار نانوکلات منگنز ٤ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان کلسیم در تیمار نانوکلات کلسیم ٦ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین میزان اسانس در تیمار نانوکلات آهن ٤ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. بطورکلی در بین غلظت‌های مورد استفاده نانوکلات آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز غلظت ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر جهت افزایش خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی در گیاه نعناع فلفلی توصیه می‌شود.

References

Allahverdi Markadeh, Z. and Yadegari, M. (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.

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

Askary, M., Amirjani, M. and 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.

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

Danaee, E and Abdossi, V. (2021a). Effect of silicon and nanosilicon on some morphophysiological and phytochemical traits of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(1).

Danaee, E and Abdossi, V. (2021b). Effect of foliar application of iron, potassium, and zinc nano-chelates on nutritional value and essential oil of Basil (*Ocimum basilicum* L.). 4(4): 13-20.

Danaee, E. and Abdossi, V. (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.

Dare Ghaedi, B., Rasouli Sedghiani, M. H. and Khodaverdilu, H. (2012). Adsorption and retention of Mn, Zn and Cu in some acidic and non-acidic soils. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 2: 63-77.

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

Gardner, FP., Piers, R. and Michelle, L. (2011). Physiology of crop plants. Translation: Koocheki, A., and Sarmadnia, Gh. 16th ed. Mashhad SID Press, pp 400.

Ghahremani A., Akbari, K. and Yusof poor, MR. (2013). The effect of nano potassium and calcium chelate fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of basil (*Ocimum basilicum*), the first national conference on nanotechnology applications in industry, mining, agriculture and medicine, Karaj, Iran, https://civilica.com/doc/207776/.

Hashemi, E., Mahdi nezhad, N., fakheri, B., mohammadpour, R. (2018). Effect of biodegradable and nanotropic fertilizers (Manganese, Cupper, and Zinc) on economic yield, antioxidant enzymes and concentration of some elements in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under drought Stress, Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 13(51): 108-120.

Jafari, F., Gholchin, A. and Shafiei, S. (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.

Khosravi Mashizi, M. and Sarcheshmehpour, M. (2015). Effect of Calcium and Potassium Foliar Application on Plant Growth, Yield and Post-Harvest Characteristics of Two Cantaloupe Cultivars (*Cucumis melo* L.). Journal of Production and Processing of Crops and Horticulture, 17 (2): 295-310.

Khorsandi Aghaii, M., Ghasemnezhad, A., Mousavizade, J. and Babakhanzadeh sajirani, E. (2020). Seed germination and phytochemical variations of two Iranian borage (Echium amuenum Fisch & C.A.Mey) under the influence of cultivation location, Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 14(56): 1-12.

Mahmoodi, Z., Ghiyasvand, S., Karimi, R. (2020). The effect foliar spray of iron and manganese nano-chlate on sugar, anthocyanin and ascorbic acid content of Bidaneh- Sefid grape berry during unripe and riped stages. Journal of plant production and function, 9 (36): 425-438.

Mahdi nezhad, N., jamalpour, H., fakheri, B. and azad, H. (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.

Mirzaei, M., Ladan Moghadam, A., Hakimi, L. and Danaee, E. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) improve plant growth, antioxidant capacity, and essential oil properties of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) under water stress. Iranian Journal of Plant Physiology, 10(2): 3155-3166.

Muzolf-Panek, M., Kleiber, T. and Kaczmarek, A. (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.

Najjarzadeh, S., Panahandeh, J., Salteh, S., Zaare-Nahandi, F. (2017). Effect of salicylic acid and putrescine on some physiological characters and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Horticultural Science, 47(4): 655-667.

Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S.N., Najafi, N. and Ghassemi-Golezani, K. (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.

Peyvandi, M., Parandeh, H. and Mirza, M. (2015). Comparison of nano Fe and Fe chelate fertilizers on the quality and the quantity of *Ocimum basilicum* L. essential oil. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 31(2): 185-193.

Rezaeinia, N. and Ramroudi, M. and Forouzandeh, M. (2016). The effect of biofertilizers and potassium nanoparticles on morphological characteristics of chicory under drought stress, the Second International Conference on New Ideas in Agriculture, Environment and Tourism, Ardabil, https://civilica.com/doc/527467.

Sadat, N. and Ladan Moghadam, A.R. (2019). Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Control of Nacl Salt Salinity on Some Morphological, Physiological Traits and Growth of Peppermint Mint (*Mentha piperita*). Cellular and molecular plant biology journal, 13(3): 31-43.

Salehi, L., Chehrazi, M. and Mousavi, S. (2018). The Effect of Nano Calcium and Potassium Humic Acid Fertilizer on Morphological and Biochemical Traits of Nasturtium (*Tropaeolum majus)*. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 27(4): 192-202.

Soleimani, R., Nourgholipour, F. and Moshiri, F. (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.

Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, K. and Ladan Moghadam, A. (2021). The Metabolic Response and Enzymatic Activity of *Calendula officinalis* L. to Foliar Application of Spermidine, Citric Acid and Proline under Drought Stress and in a Post-Harvest. Journal of Agricultural Science and Technology, 23(6).

Tavan, T., Niakan, M. and Norinia, A. (2014). Effect of Nano Potassium Fertilizer on Growth Factors, Photosynthetic System and Extent Wheat plant protein (*Triticum aestivum* L.) cultivar 9191 N. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 9(35): 61-71.

Torabi-Giglou, M., Noroozi, H., Maleki Lajayer, H. and Dehdar, B. (2020). Effects of Organic and Biological Fertilizers on Growth and Nutrient Content of Spinach (*Spinacea oleracea* L.). Journal of Vegetables Sciences, 3(2): 109-121.

Yadegari, M. (2015). Foliar application of micronutrients on essential oils of borago, thyme and marigold. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 15 (4): 949-964.

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.

Yousefzadeh, S., Naghdi Badi, H., Sabaghnia, N. and Janmohammadi, M. (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.