



Investigating the Impact of Iron Nano-Chelate Foliar Application Regimens (Concentration and Timing) on Key Morpho-Physiological Parameters of *Rosa damascene*

AzinRezvan Ashrafi¹ , Mahnaz Karimi^{2✉} , Hossein Moradi³

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: azin.rezvan@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: karimi@sanru.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: h.moradi@sanru.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	This study investigated the effects of nano-iron chelate foliar application, including concentration and timing, on the morpho-physiological characteristics of Damask rose (<i>Rosa damascena</i>), genotype A104. A two-year factorial experiment was conducted in a randomized complete block design on a two-year-old Damask rose farm. The experimental factors comprised five concentrations of nano-iron chelate (0, 0.5, 1, 1.5, and 2 g/l) and three application times (0, 10, and 20 days after the onset of the growing season), with three replications for each treatment combination. Results indicated that all evaluated morphological and physiological traits generally improved with increasing nano-iron chelate concentration. Notably, the maximum leaf width, as well as wet and dry leaf weight, were observed at an iron concentration of 1.5 g/l applied on the 20th day post-initiation of the growing season. The greatest increase in flowering stem height was achieved with a 2 g/l iron concentration applied on the 20th day. Flower number was highest at 1.5 g/l nano-iron chelate on the 20th day, showing no significant difference from the 2 g/l concentration applied on the same day. Anthocyanin content increased with iron concentration up to 1.5 g/l, after which it slightly decreased at 2 g/l. A significant increase in carotenoid content was observed across all application timings compared to control plants. Furthermore, the highest concentrations of iron, nitrogen, magnesium, phosphorus, and potassium in the leaves were recorded on the 20th day post-initiation of growth in plants treated with 2 g/l nano-iron chelate. Based on these findings, foliar spraying of Damask rose with 1.5 g/l nano-iron chelate, twenty days after the start of seasonal growth, is recommended for optimal enhancement of morpho-physiological characteristics.
Article history: Received: 9 November 2024 Received in revised form: 29 December 2024 Accepted: 15 January 2025 Published online: Summer 2025	
Keywords: Anthocyanin, Chlorophyll, Flowering, Iron deficiency, Micronutrient.	

Cite this article: Ashrafi, A. R., Karimi, M. & Moradi, H. (2025). Investigating the Impact of Iron Nano-Chelate Foliar Application Regimens (Concentration and Timing) on Key Morpho-Physiological Parameters of *Rosa damascene*. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (3), 605-621. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.382827.2213>



Publisher: The University of Tehran Press.

[10.22059/ijhs.2025.382827.2213](https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.382827.2213)

Extended Abstract

Introduction

The Damascene Rose (*Rosa damascena*), a significant member of the Rosaceae family, is widely cultivated globally for its prized aromatic essential oil and diverse genotypic variations. Nutrient deficiency, particularly micronutrients, is a primary constraint on yield and oil quality. In Iran, the increasing prevalence of alkaline soils exacerbates micronutrient deficiencies, with iron being a critical element for plant growth. Iron is indispensable for vital metabolic processes, including pigment synthesis, chloroplast development, nitrogen assimilation, and enzymatic functions. Iron deficiency negatively impacts vegetative growth and flowering in roses. Conversely, excessive iron can lead to the generation of reactive oxygen species (ROS) and subsequent oxidative stress, manifesting as growth inhibition and toxicity symptoms. Therefore, optimizing nutrient concentrations, including iron, is crucial for healthy plant development. This study investigated the effects of varying nano-iron chelate concentrations and application timings on key morpho-physiological traits of Damascene Rose.

Materials and Methods

This research employed a factorial randomized complete block design with three replications, conducted on a two-year-old Damascene Rose farm in Pachet village, Mazandaran province. The experimental factors were: (1) foliar application of nano-iron chelate at five concentrations (0, 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 g/L), and (2) application timing at three intervals (0, 10, and 20 days post-initiation of plant growth). Foliar spraying was performed in three distinct stages with 10-day intervals. Distilled water served as the control. Each experimental plot comprised 15 plants. Uniformity of the bushes was maintained through pruning prior to bud break. Morphological and physiological traits, including flower number, inflorescence length, leaf width, leaf fresh and dry weight, anthocyanin content, chlorophyll, total phenolic compounds, and the concentrations of iron (Fe), nitrogen (N), calcium (Ca), phosphorus (P), and magnesium (Mg) in the leaves, were assessed one week after the final foliar application.

Results and Discussion

The findings indicated that increasing iron concentration generally enhanced all evaluated morphological and physiological traits, as well as nutrient element concentrations in the leaves. Optimal leaf width and leaf fresh and dry weight were recorded at an iron concentration of 1.5 g/L applied on the 20th day post-growth initiation. The most substantial increase in flowering stem height was observed with a 2.0 g/L iron application on the 20th day. The highest flower count was associated with the 1.5 g/L nano-iron chelate treatment on the 20th day, showing no significant difference from the 2.0 g/L treatment on the same day. Anthocyanin content increased with iron concentration up to 1.5 g/L, with a subsequent decrease at 2.0 g/L. Carotenoid content significantly increased in plants treated with nano-iron chelate across all application timings compared to the control. The highest concentrations of Fe, N, Mg, P, and K in the leaves were observed on the 20th day of the experiment with a 2.0 g/L nano-iron chelate spray.

The observed improvements in morphological traits following iron foliar application are attributed to increased chlorophyll content, which consequently enhances photosynthetic efficiency and overall plant growth. Previous studies suggest that elevated iron levels in leaves stimulate peroxidase and catalase enzyme activity, leading to increased assimilate production and improved plant development. Furthermore, relative water content increased with nano-iron chelate concentrations up to 1.5 g/L across all spraying days, potentially due to enhanced osmotic potential and soluble carbohydrate content within the plant cells.

Conclusion

Based on the results, it is recommended to apply nano-iron chelate to Damascene Rose plants, particularly at a concentration of 1.5 g/L, approximately twenty days after the onset of growth, to optimize morpho-physiological characteristics.

Author Contributions

M.K. conceptualized the study and designed the methodology. A.R.A. performed the experiments and conducted the research. M. K. and H.M. supervised the execution of the study. M.K. and A.R.A. wrote the manuscript. All three authors reviewed, edited, and approved the final version of the manuscript.

Data Availability Statement

The authors declare that all the data supporting the findings of this research are available within the article.

Acknowledgements

The authors would like to thank Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran for the support of this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

نقش غلظت و زمان محلول پاشی نانوکلات آهن بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گل - (*Rosadamascena*) محمدی

آذین رضوان اشرفی^۱ | مهناز کریمی^۲ | حسین مرادی^۳

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. رایانامه: azin.rezvan@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. رایانامه: karimi@sanru.ac.ir
۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. رایانامه: h.moradi@sanru.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	به منظور بررسی اثر نانوکلات آهن و زمان محلول پاشی این عنصر بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گل محمدی (<i>Rose damascene</i>) ژنوتیپ A104، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در مزرعه ای در روستای پچت شهرستان بهشهر با گیاهان دوساله گل محمدی انجام گرفت. فاکتور اول، غلظت های مختلف نانوکلات آهن (عدم کاربرد، ۱/۵، ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر) و فاکتور دوم زمان کاربرد (۱، ۱۰ و ۲۰ روز پس از آغاز رشد جوانه ها در فصل رشد) با سه تکرار بود. طبق نتایج حاصل، اکثر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک با افزایش غلظت نانوکلات آهن بهبود یافتند. بیشترین عرض برگ و وزن تر و خشک برگ در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر آهن و در روز بیستم محلول پاشی مشاهده شد. بیشترین افزایش ارتفاع ساقه گل دهنده مربوط به محلول پاشی های روز بیستم بوته ها با غلظت دو گرم در لیتر نانوکلات آهن بود. بیشترین تعداد گل ظاهر شده در هر بوته در گیاهان تیمار شده با نانوکلات آهن ۱/۵ گرم در لیتر و در روز بیستم ثبت شد که با غلظت ۲ گرم در لیتر در روز بیستم محلول پاشی تفاوت معنی داری نداشت. محتوای آنتوسیانین گلبرگ با افزایش غلظت نانوکلات آهن تا ۱/۵ گرم در لیتر افزایش و در غلظت ۲ گرم در لیتر کاهش نشان داد. در نتایج بررسی کارتنوئید افزایش معناداری در محتوای کارتنوئید گیاهان تیمار شده با نانوکلات آهن در غلظت های ۱/۵، ۱، ۲ و ۳ گرم بر لیتر در تمامی روزهای محلول پاشی نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. غلظت عناصر آهن، نیتروژن، منیزیم، فسفر و پتاسیم برگ با افزایش غلظت نانوکلات آهن افزایش نشان داد و بیشترین مقدار این عناصر در روز بیستم محلول پاشی با دو گرم در لیتر نانوکلات آهن ثبت شد. با توجه به یافته های پژوهش، محلول پاشی گیاهان با نانوکلات آهن در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر، بیست روز بعد از شروع رشد، به منظور بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گل محمدی توصیه می شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶	
تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴	
کلیدواژه ها:	
آنتوسیانین، ریزمغذی، گل دهی، کمبود آهن، کلروفیل.	

استناد: رضوان اشرفی، آذین، کریمی، مهناز و مرادی، حسین (۱۴۰۴). نقش غلظت و زمان محلول پاشی نانوکلات آهن بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گل محمدی (*Rosa damascena*)، نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۳)، ۶۲۱-۶۰۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.382827.2213>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.382827.2213>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

گل محمدی متعلق به خانواده Rosaceae می باشد که حدود ۱۵۰ جنس و ۱۴۰۰ گونه دارد. سابقه کشت آن در بسیاری از کشورها از جمله ایران، آمریکا، انگلستان، بلغارستان، ترکیه، ژاپن و هند گزارش شده است. گلاب حاصل از این گیاه باعث تقویت سیستم عصبی شده و خاصیت آرام بخش و ضد استرس دارد؛ همچنین برای رفع بی خوابی و کاهش خستگی، بهبود آفت دهان و تقویت معده مؤثر است (Poor cheraghi et al., 2020). حدود ۲۵۰ هزار هکتار از اراضی کشور زیر کشت گل محمدی قرار دارد که درختچه ای است با عمر نسبتاً طولانی که در اغلب مناطق کوهستانی و کوهپایه ای کشور قابلیت و شرایط لازم برای کاشت و پرورش را دارد. در استان مازندران، سطح زیر کشت گیاهان دارویی ۱۲۰۰ هکتار است که حدود چهارصد تا پانصد هکتار از آن مربوط به گل محمدی می باشد (Khaleghi & Khadivi, 2020). در سال ۱۴۰۲، حدود ۵۱۹ تن گلبرگ و غنچه و یک میلیون و ۸۵۲ تن گلاب این گیاه به کشورهای همسایه صادر شده است.

خشکی و کمبود عناصر غذایی به خصوص عناصر ریزمغذی^۲ از مهم ترین عوامل کاهش عملکرد و کاهش کیفیت اسانس گل محمدی است. افزایش مساحت خاک های قلیائی و آهکی در ایران طی سال های اخیر سبب کمبود عناصر ریزمغذی در این گیاه شده است. شناسایی ژنوتیپ های پربازده گل محمدی در کنار تغذیه گیاه در زمان های مناسب و بررسی تأثیر این عناصر بر بهبود صفات مورفولوژیک^۴ و فیزیولوژیک^۵ گل، موضوع مورد توجه پژوهشگران سراسر جهان است (Labban & Thallaj, 2020; Darvishpour et al., 2018). در شرایط کشت در مزرعه که عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی در جذب عناصر غذایی تأثیر گذارند، محلول پاشی این عناصر بسیار حائز اهمیت است چراکه به اشکال یونی قابل جذب، به طور مستقیم از طریق ریزنه ها وارد گیاه می شوند (Ayyoubi et al., 2023).

از میان انواع ریزمغذی ها، گیاهان بیشترین نیاز را به عنصر آهن دارند که در فعالیت های متابولیک از قبیل تولید رنگ دانه، توسعه کلروپلاست و تثبیت نیتروژن نقش مهمی ایفا می کند (Cakmak et al., 2023). گزارش ها نشان می دهد کمبود عنصر آهن قابل دسترس، منجر به اختلال در رشد رویشی و گل دهی گل محمدی می گردد به طوری که سبب کاهش اندازه گل، طول و عرض گلبرگ، تعداد گلبرگ و عملکرد گل می شود (Cakmak et al., 2023). عواملی چون مصرف زیاد فسفر و آهک، درجه حرارت کم یا زیاد، مقدار زیاد نیتروژن به صورت نترات، مقدار زیاد فلزات سنگین، تهویه ضعیف خاک، نسبت های کاتیونی نامتوازن و آلودگی ریشه به نماتد ها از جمله مواردی است که کاهش میزان عنصر آهن را در خاک سبب می شوند. عدم تعادل این عنصر در خاک، باعث کلروز در گیاه می شود که عبارت است از زرد شدن فواصل بین رگبرگ ها به دلیل کمبود کلروفیل (Fageria et al., 1990). بیمار گل محمدی با اشکال مختلف عنصر آهن به ویژه فرم های کلاته^۱ و نانوکلات ها^۲ منجر به افزایش معناداری در بهبود شاخص های کمی و کیفی گل های این گیاه می شود (Samadiyan-Sarbangholi et al., 2014).

تحقیقات نشان داده است که اعمال راهکارهای مدیریتی به جاماندن زمان مطلوب تغذیه و کاربرد اشکال نانو و کلاته آهن می تواند علاوه بر افزایش کمی و کیفی گل محمدی، میزان ترکیبات فنولی^۱ را نیز بهبود بخشد (Ali et al., 2023). کمبود

1. Rosa damascena Mill

2. Micronutrient

3. Genotype

4. Morphological traits

5. Physiological traits

6. Chloroplast

7. Cation ratios

8. Nematode

9. Chlorosis

1. Chlorophyll

0

1. Iron chelate

1

1. Nano-iron chelate

2

1. Phenol

3

آهن در سی درصد از خاک‌های قابل کشت در جهان گزارش شده و مشکلی اساسی در خاک‌های آهنی به حساب می‌آید (Dayani et al., 2024). در خاک‌های منطقه مازندران نیز به دلیل بالا بودن میزان اسیدیته، انحلال پذیری و شستشوی آهن در خاک بالا بوده و مشکل جدی در جذب آهن از خاک وجود دارد. علی‌رغم این آسیب، طی سال‌های اخیر کشت و کار گل محمدی در استان مازندران افزایش پیدا کرده و در اغلب مزارع، رشد رویشی و عملکرد پایین، و حساسیت نسبتاً بالا به آفات و بیماری مشاهده می‌شود. در چنین بستری، انتخاب غلظت و زمان مناسب استفاده از کود آهن می‌تواند در کاهش کمبود این عنصر مؤثر باشد. لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش غلظت‌های مختلف نانوکلات آهنو زمان محلول پاشی این عنصر بر بهبود برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گل محمدی ژنوتیپ A104 بود.

پیشینه پژوهش

در پژوهشی روی گل محمدی، محلول پاشی کلات آهن به میزان چهار گرم در بوته و سه بار دوره محلول پاشی، بیشترین تأثیر را در افزایش اسانس داشت (Layeghaghghi et al., 2016). نتیجه بررسی تأثیر آهن بر کارایی و عملکرد فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی دو، در گل رز نشان داد که با افزایش غلظت آهن از ۱/۵ به ۲۴ میکرومولار کارایی این سیستم افزایش داشته و بین غلظت آهن موجود در برگ با شاخص میزان سبزینه برگ و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتز همبستگی معنی‌داری وجود دارد (Kiani, 2012). در گزارشی دیگر، بیان شد که گیاهان تیمارنشده با ریزمغذی‌ها به‌ویژه نانوکلات‌های آهن، روی، بور و منگنز، درمقایسه با گیاهان تیمار شده، گل‌هایی با کیفیت پایین تولید می‌کنند. همچنین پژوهشگران گزارش کردند استفاده از ریزمغذی‌ها قابلیت بهبود عملکرد کمی و کیفی اسانس ازجمله سیترونلول و هنی‌کوزان را دارا می‌باشند (Layeghaghghi et al., 2016; Ovais et al., 2020). پژوهشی دیگر روی گیاه زعفران، نشان داد برهم‌کنش غلظت آهن و زمان کاربرد آن، بر تمامی صفات ازجمله میزان کلروفیل، کارتنوئیدهای محلول، میزان قند محلول، پرولین گیاه و مقدار آب اشباع تأثیر معناداری دارد (Koocheki & Seyyedi, 2016).

کاربرد نانوکلات آهن به‌صورت محلول پاشی با غلظت دو میلی گرم در لیتر در شرایط متفاوت آبی در بیشتر ژنوتیپ‌های گیاه بابونه در بهبود عملکرد و سیستم فتوسنتزی مؤثر بوده است (Salehi et al., 2022). محلول پاشی آمینوپتاس بیست درصد و سولفات آهن سی درصد در غلظت سه در هزار باعث افزایش معنی‌داری در سطح برگ، طول و قطر غنچه گل، طول ساقه گل‌دهنده، وزن تر و خشک گیاه و در نهایت، بهبود کیفیت گل‌های شاخه بریده رز شده است (Min et al., 2017). اگرچه وجود آهن در خاک از نظر رشد برای گیاهان ضروری است، اما بیش‌بود این عنصر ممکن است به ایجاد اکسیژن فعال و در نهایت، تنش اکسیداتیو منجر شود. با افزایش رادیکال‌های آزاد و تنش اکسیداتیو، بازدارندگی رشد و علائم مسمومیت در گیاه به‌وجود می‌آید (El-Gioushy et al., 2021)؛ به‌همین دلیل، تعیین غلظتمناسب عناصر غذایی ازجمله آهن در رشد گیاه ضروری است. علاوه بر میزان غلظت آهن، زمان مطلوب استفاده از آن نیز اهمیت دارد زیرا تاریخ مصرف کود و بازه زمانی تیمارها به‌خصوص بعد از شروع به‌رشد گیاه و به‌دنبال دوره استراحت گل محمدی، می‌تواند از علل عدم تأثیر کافی این عنصر بر گیاه باشد. در یک بررسی، کاربرد دوازده گرم کود آهن به فرم کلات‌شده در هر بوته به‌طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد را نسبت به سایر کودهای آهن افزایش داد (Abbaszadeh, 2016). در پژوهشی دیگر، محلول پاشی کلات آهن (چهار گرم کود در دو لیتر

1 Photosynthesis

2 Citronellol

3 Heneicosane

4 Soluble carotenoids

5 Proline

6 Saturated water content (SWC)

7 Aminopotass

آب با دو بار محلول پاشی بر بوته باعث افزایش عملکرد و بیشترین درصد اسانس گل محمدی گردید (Samadian et al., 2014).

روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۲ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه ای با گیاهان دوساله گل محمدی (ژنوتیپ A104) در روستای پخت، بخش یانه سر، شهرستان بهشهر استان مازندران در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی و ۵۳ درجه شرقی در ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. مشخصات خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

فاکتور اول محلول پاشی غلظت های مختلف نانوکلات آهن (عدم کاربرد، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر) و فاکتور دوم زمان محلول پاشی نانوکلات آهن در بازه های زمانی یک، ده و بیست روز بعد از اولین نشانه های جوانه زنی برگ در گیاه بود. در زمان محلول پاشی روز یکم (پنجم فروردین) جوانه زنی بوته ها شروع نشده بود. روز دهم محلول پاشی (پانزده فروردین)، همراه با شروع جوانه زنی بوته ها بود و در روز بیستم (بیست فروردین)، برگ ها در حال توسعه بودند. کود نانوکلات آهن با نام تجاری خضرا از شرکت احرار شرق (دارای ۹٪ وزنی آهن و ۴٪ وزنی سایر عناصر ریزمغذی) تهیه شد. در هر کرت آزمایش، پانزده پایه دو ساله گل محمدی وجود داشت. جهت یکنواخت شدن بوته ها، هرس قبل از جوانه زنی درختچه ها صورت گرفت. محلول پاشی با نانوکود آهن در سه مرحله و با فواصل ده و بیست روز انجام گرفت و از آب مقطر به عنوان شاهد استفاده شد. نانوکلات آهن در غلظت های مورد نظر در آب حل شد و به میزان صد میلی لیتر روی بوته ها اسپری گردید تا کل بوته را پوشش دهد. محلول پاشی در صبح صورت می گرفت.

یک هفته پس از آخرین محلول پاشی، برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد بررسی قرار گرفت؛ برای اندازه گیری شاخص عرض برگ، پنجاه برگ از هر بوته و برای اندازه گیری میانگین قطر نهج و قطر گل، از پنج گل کاملاً باز شده انتهایی شاخه اصلی نمونه برداری صورت گرفت.

برای اندازه گیری وزن تر برگ پنجاه برگ از هر بوته به صورت تصادفی انتخاب و میانگین وزن تر برگ ها در سه تکرار با ترازوی حساس دیجیتال ثبت شد. برای تعیین وزن خشک برگ، ابتدا نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۴۸ درجه سانتی گراد خشک، سپس با ترازو توزین انجام شد. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ ابتدا سه گرم برگ در آب مقطر غوطه ور شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری و سپس وزن شدند. نمونه ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و مجدداً توزین شدند (Smart & Bingham, 1974). برای اندازه گیری آنتوسیانین، ابتدا یک گرم از بافت گلبرگ در ده میلی لیتر متانول اسیدی (۹۹ میلی لیتر متانول و یک میلی لیتر اسید هیدروکلریک) در هاون کوبیده شد. عصاره به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد، سپس در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ده دقیقه و دور چهار هزار قرار گرفتند. نمونه ها در دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1800 pc) در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شدند (Strack & Wray, 1989). برای اندازه گیری محتوای کلروفیل، از یک برگ بزرگ با دستگاه پانچ، شش دیسک به قطر شش میلی متری تهیه شد. روی نمونه ها هشت میلی لیتر متانول ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. در نهایت، جذب عصاره با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج های ۴۷۰، ۶۵۲ و ۶۶۵ نانومتر قرائت شد (Lichtentaller & Welburn, 1983). برای اندازه گیری فنل کل ۰/۲۵ گرم نمونه برگ در یک میلی لیتر متانول ۸۰٪ کوبیده شدند و عصاره ها به مدت ۴۸ ساعت روی شیکر قرار گرفتند، سپس به مدت چهار دقیقه سانتریفیوژ انجام گرفت. به بیست میکرومول از عصاره ها، صد میکرومول فولین و ۱۱۶۰ میکرومول آب مقطر اضافه شد و به مدت پنج دقیقه استراحت داده شدند. سپس سیصد میکرومول سدیم کربنات به عصاره اضافه شد و نیم ساعت در حمام بخار قرار گرفتند. در نهایت، قرائت نمونه ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (Ainsworth & Gillespie, 2007). به منظور اندازه گیری برخی از عناصر موجود در برگ، پنجاه نمونه برگ از هر تیمار تهیه شد و پس از شستشوی نمونه ها، محتوای نیتروژن کل طبق روش Gallaher et al. (۱۹۷۶) بررسی شد. ۰/۳ گرم

از نمونه خشک آسیاب شده در لوله هضم ریخته شد و کاتالیزور به میزان ۱/۱ گرم و سولفوریک اسید غلیظ (پنج میلی لیتر) اضافه شد. نمونه ها به مدت دو ساعت در دستگاه هضم قرار گرفتند و در نهایت، درصد نیتروژن با دستگاه کج دال قرائت شد. عنصر پتاسیم برگ طبق روش Cox et al. (۱۹۹۹) توسط شعله سنجی و دستگاه فلیم فتومتری تعیین شد. برای اندازه گیری فسفر، برگ به نیم میلی لیتر عصاره هضم، آسکوربیک اسید و پتاسیم آنتی مولی تارتارات اضافه شد و در آخر، میزان فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۶۶۰ نانومتر قرائت شد (Karp et al., 2012). میزان آهن برگ با روش Katyal & Sharma (۱۹۸۰) و غلظت عنصر منیزیم برگ با روش Black et al. (۲۰۰۸) اندازه گیری شد. ارزیابی آماری داده های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS; Ver 20 و آزمون مقایسه میانگین توکی در سطح معنی داری پنج درصد انجام شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیوشیمیایی نمونه خاک استفاده شده در آزمایش

بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	ماده آلی (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	سدیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)
لومی شنی	۵۹	۲۹	۱۱	۵/۴۱	۷/۸۴	۱/۷۳	۴۴۰	۱۶۳	۴/۰۳

یافته های پژوهشی

صفات مورفولوژیک

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ساده و برهم کنش غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر صفات عرض برگ، وزن تر و خشک برگ، طول گل، طول گل آذین و قطر ساقه گل دهنده معنی دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت آهن از صفر تا ۱/۵ گرم بر لیتر، افزایش معناداری در عرض برگ، وزن تر و خشک برگ و طول گل آذین مشاهده شد. بیشترین عدد مربوط به این صفات در تیمار نانوکلات آهن در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر در روز بیستم محلول پاشی بود (جدول ۳) به طوری که عرض برگ و طول ساقه گل دهنده در گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن در روز بیستم در مقایسه با عدم کاربرد آهن در روز اول، به ترتیب ۲۵٪ و ۲۷٪ افزایش نشان داد. طول گل آذین در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر آهن در روز بیستم با غلظت دو گرم در لیتر آهن در همان روز تفاوت معنی داری نداشت. بیشترین افزایش ارتفاع ساقه گل دهنده مربوط به محلول پاشی های روز بیستم بوته ها با غلظت دو گرم در لیتر آهن بود که با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر در همان روز تفاوت معنی دار مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر برخی صفات مورفولوژیک گل محمدی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عرض برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	طول گل	طول گل آذین	قطر ساقه گل دهنده
غلظت (A)	۲	۱/۵۸**	۵/۷۵*	۲/۳۱**	۱۱/۴۱**	۱۸/۳۳**	۰/۰۶*

زمان (B)	۴	۰/۲۹**	۰/۳۲**	۰/۲۸*	۰/۶۵**	۹/۵۷**	۰/۰۳**
A*B	۸	۰/۱۳**	۰/۱۲**	۰/۱۰**	۰/۲۲**	۱/۳۳**	۰/۰۱۴**
خطا		۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۴
ضریب تغییرات (%)		۱/۵۹	۱/۸۴	۱/۸۷	۱/۸۴	۳/۷۰	۱/۶۷

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر برخی صفات مورفولوژیک گل محمدی

آهن (گرم در لیتر)	روز محلول پاشی	عرض برگ (سانتی متر)	وزن تر برگ (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	طول گل (سانتی متر)	طول گل آذین (سانتی متر)	قطر ساقه گل دهنده (سانتی متر)
عدم کاربرد	روز اول	۱/۸۰ ^e	۴/۳۵ ^l	۲/۷۰ ⁱ	۶/۸۰ ^j	۱۲/۱۳ ^{ef}	۰/۳۵ ^{de}
	۱۰	۱/۷۰ ^f	۴/۳۰ ^l	۲/۶۰ ^j	۶/۶۰ ^k	۱۱/۲۵ ^f	۰/۳۰ ^{ef}
	۲۰	۱/۸۰ ^e	۴/۰۰ ^m	۲/۴۰ ^k	۶/۴۰ ^l	۱۱/۷۷ ^{ef}	۰/۲۳ ^f
۰/۵	روز اول	۱/۶۷ ^f	۴/۳۰ ^k	۲/۶۰ ^j	۷/۵۰ ⁱ	۱۲/۲۰ ^{ef}	۰/۲۷ ^{ef}
	۱۰	۱/۸۰ ^e	۴/۶۰ ⁱ	۲/۸۰ ^h	۸/۰۰ ^h	۱۲/۶۰ ^{def}	۰/۳۰ ^{ef}
	۲۰	۲/۰۰ ^d	۴/۸۰ ^h	۳/۰۰ ^g	۸/۳۰ ^f	۱۳/۲۰ ^{cde}	۰/۴۰ ^{cd}
۱	روز اول	۱/۸۰ ^e	۵/۰۰ ^g	۲/۸۰ ^h	۸/۱۰ ^g	۱۲/۵۰ ^{def}	۰/۳۰ ^{ef}
	۱۰	۲/۰۰ ^d	۵/۲۰ ^f	۳/۱۰ ^f	۸/۳۰ ^f	۱۳/۰۰ ^{cde}	۰/۳۵ ^{de}
	۲۰	۲/۲۰ ^c	۵/۴۰ ^e	۳/۳۰ ^e	۸/۷۰ ^d	۱۴/۰۰ ^{bcd}	۰/۴۵ ^{bc}
۱/۵	روز اول	۲/۱۵ ^c	۵/۶۰ ^c	۳/۵۰ ^c	۹/۰۰ ^c	۱۴/۰۰ ^{bcd}	۰/۴۰ ^{cd}
	۱۰	۲/۳۰ ^b	۵/۸۰ ^b	۳/۶۰ ^b	۹/۱۰ ^b	۱۴/۴۰ ^{bc}	۰/۴۰ ^{cd}
	۲۰	۲/۴۰ ^a	۶/۰۳ ^a	۳/۸۰ ^a	۹/۳۰ ^a	۱۶/۴۳ ^a	۰/۵۰ ^{ab}
۲	روز اول	۲/۰۵ ^d	۵/۵۰ ^d	۳/۳۰ ^e	۸/۵۰ ^e	۱۳/۰۰ ^{cde}	۰/۴۵ ^{bc}
	۱۰	۲/۱۵ ^c	۵/۶۰ ^c	۳/۴۰ ^d	۸/۷۰ ^d	۱۴/۰۰ ^{bcd}	۰/۵۰ ^{bc}
	۲۰	۲/۳۰ ^b	۵/۸۰ ^b	۳/۶۰ ^b	۹/۰۰ ^c	۱۵/۰۰ ^{ab}	۰/۵۰ ^a

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد آزمون توکی ندارند.

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر برخی صفات مورفولوژیک گل محمدی

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد گل در بوته	تعداد گلبرگ	طول نهج	وزن خشک گل در بوته	وزن تر گل در بوته
غلظت (A)	۲	۵۴۱/۸۱*	۲۴/۰۱*	۱/۷۲**	۱۸/۳۳**	۲۱/۸۱*
زمان (B)	۴	۵/۵۵**	۲۶/۷۱**	۱۷/۲۹**	۹/۵۷**	۱۶/۱۹*
A*B	۸	۴/۵۹**	۱۲/۹۲**	۰/۴۲**	۰/۰۰۲**	۰/۰۲**
خطا		۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (%)		۴/۲۱	۲/۸۴	۱/۹۱	۳/۲۲	۲/۷۲

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر برخی صفات مورفولوژیک گل محمدی

غلظت آهن (گرم در لیتر)	روز محلول پاشی	تعداد گل در بوته	تعداد گلبرگ	طول نهج (سانتی متر)	وزن خشک گل در بوته (گرم)	وزن تر گل در بوته (گرم)
عدم کاربرد	روز اول	۹/۰۰ ^h	۲۴/۲۵ ^h	۰/۴۳ ⁱ	۹/۹۰ ^g	۱۳/۸۰ ⁱ
	۱۰	۷/۲۵ ⁱ	۲۲/۵۰ ⁱ	۰/۵۰ ^{hi}	۱۱/۰۰ ^g	۱۴/۳۰ ^{hi}
	۲۰	۶/۲۵ ⁱ	۲۰/۲۵ ^j	۰/۵۵ ^{gh}	۹/۳۷ ^g	۱۵/۸۵ ^{ef}
۰/۵	روز اول	۸/۰۰ ⁱ	۲۶/۰۰ ^g	۰/۵۰ ^{hi}	۱۱/۰۰ ^f	۱۳/۸۰ ⁱ
	۱۰	۹/۰۰ ^h	۲۸/۰۰ ^f	۰/۶۰ ^{fgh}	۱۱/۳۰ ^{ef}	۱۴/۳۰ ^{hi}
	۲۰	۱۰/۰۰ ^g	۳۰/۷۵ ^d	۰/۶۵ ^{efg}	۱۱/۸۰ ^{de}	۱۵/۸۵ ^{ef}
۱	روز اول	۱۰/۲۵ ^f	۳۹/۰۰ ^{ef}	۰/۶۰ ^{f-h}	۱۱/۱۷ ^{ef}	۱۴/۸۰ ^{gh}
	۱۰	۱۱/۲۵ ^{de}	۳۰/۰۰ ^{de}	۰/۶۷ ^{d-f}	۱۱/۸۰ ^{de}	۱۵/۳۰ ^{fg}
	۲۰	۱۲/۰۰ ^{cd}	۳۲/۰۰ ^c	۰/۷۵ ^{de}	۱۲/۳۰ ^{bcd}	۱۶/۸۵ ^{cd}

۱۶/۳ ^{de}	۱۲/۳ ^{bcd}	۰/۷۷ ^{cd}	۳۲/۰۰ ^c	۱۱/۵۰ ^{de}	روز اول	۱/۵
۱۷/۰۵ ^{bc}	۱۲/۵۷ ^{abc}	۰/۸۷ ^{bc}	۳۳/۷۵ ^b	۱۲/۵۰ ^{bc}	۱۰	
۱۸/۴۵ ^a	۱۳/۰۰ ^a	۱/۰۰ ^a	۳۶/۰۰ ^a	۱۳/۷۰ ^a	۲۰	
۱۶/۸۰ ^{ef}	۱۲/۰۰ ^{cd}	۰/۶۵ ^{efg}	۳۰/۰۰ ^{de}	۱۱/۰۰ ^{ef}	روز اول	۲
۱۶/۳۰ ^{de}	۱۲/۲۰ ^{bed}	۰/۷۵ ^{de}	۳۲/۰۰ ^c	۱۲/۰۰ ^{cd}	۱۰	
۱۷/۶۰ ^b	۱۲/۷۷ ^{ab}	۰/۹۰ ^{ab}	۳۴/۰۰ ^b	۱۳/۰۰ ^{ab}	۲۰	

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد آزمون توکی ندارند.

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر ساده و برهم کنش غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر تعداد گل و گلبرگ، طول نهج و وزن تر و خشک گلبرگ معنی دار بود. بیشترین تعداد گل ظاهر شده در هر بوته مربوط به محلول پاشی در روز بیستم با تیمار نانوکلات آهن در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر بود که تفاوت معنی داری با غلظت دو گرم در لیتر در همان روز محلول پاشی نداشت (جدول ۵). افزایش ۳۴ درصدی در تعداد گل در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن در روز بیستم در مقایسه با عدم کاربرد تیمار کودی در روز اول مشاهده شد. همچنین در همه غلظت های نانوکلات آهن، افزایش تعداد گل از روز اول تا روز بیستم ثبت شد. تعداد گلبرگ نیز روند مشابهی با تعداد گل در بوته نشان داد به طوری که در روز بیستم محلول پاشی در تمامی غلظت های نانوکلات آهن، افزایش در تعداد گلبرگ مشاهده شد. افزایش ۳۳ درصدی در گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن در مقایسه با عدم کاربرد این تیمار در روز اول ثبت شد (جدول ۵).

بیشترین طول نهج مربوط به تیمار ۱/۵ گرم بر لیتر نانوکلات آهن در روز بیستم محلول پاشی بود که با غلظت دو گرم در لیتر در همان روز تفاوت معنی داری نشان نداد (جدول ۵). کمترین طول نهج مربوط به عدم کاربرد آن در روز اول بود. طول نهج در محلول پاشی آهن از روز اول تا روز بیستم روند افزایشی نشان داد.

بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش معناداری در وزن تر و خشک گل با افزایش غلظت نانوکلات آهن تا ۱/۵ گرم در لیتر مشاهده شد. در روز بیستم محلول پاشی، گیاهان تیمار شده با ۱/۵ و دو گرم در لیتر آهن دارای بیشترین وزن تر بودند. وزن تر و خشک گل در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن در روز بیستم محلول پاشی به ترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد افزایش در مقایسه با عدم کاربرد آهن در روز اول نشان داد (جدول ۵).

صفات فیزیولوژیک

اثر ساده و برهم کنش غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر محتوای آنتوسیانین، کارتنوئید، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و فنل کل معنی دار بود (جدول ۶). محتوای آنتوسیانین با افزایش غلظت آهن تا ۱/۵ گرم در لیتر افزایش و در غلظت ۲ گرم در لیتر کاهش نشان داد. محتوای آنتوسیانین در روز بیستم آزمایش در گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم در لیتر، به میزان حداکثر بود. همچنین با افزایش زمان محلول پاشی از روز اول تا بیستم، میزان آنتوسیانین در تمامی غلظت های نانوکلات آهن روند افزایشی داشت (جدول ۷). نتایج بررسی، افزایش معناداری در محتوای کارتنوئید گیاهان تیمار شده با نانوکلات آهن در غلظت های ۰/۵، ۱، و ۱/۵ و دو گرم بر لیتر از روز اول تا بیستم محلول پاشی نسبت به گیاهان شاهد نشان داد؛ بیشترین محتوای کارتنوئید در هر سه دوره محلول پاشی مربوط به غلظت ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن بود (جدول ۷). میزان کارتنوئید در روز بیستم در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن ۳۸ درصد در مقایسه با عدم کاربرد این تیمار در روز بیستم افزایش نشان داد. محتوای کلروفیل کل در روز بیستم محلول پاشی در ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات آهن، در میزان حداکثر بود باین حال، تفاوت معناداری با غلظت دو گرم در لیتر در روز بیستم محلول پاشی و ۱/۵ گرم در لیتر در روز دهم محلول پاشی نداشت. کمترین کلروفیل در روز بیستم محلول پاشی و در گیاهان تیمار نشده با نانوکلات آهن ثبت شد (جدول ۷). افزایش ۲۸ درصدی در محتوای کلروفیل برگ گیاهان تیمار شده با نانوکلات آهن در روز بیستم محلول پاشی، در مقایسه با عدم کاربرد این تیمار در محلول پاشی روز بیستم مشاهده شد.

جدول ۶. تجزیه واریانس اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر برخی صفات فیزیولوژیک گل محمدی

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنتوسیانین	کارتنوئید	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	فنل کل
---------------	------------	------------	-----------	------------	--------------------	--------

غلظت (A)	۲	۶/۴۸ ^{ab}	۲/۱۴ ^a	۰/۰۴۴ ^{ab}	۶۳۰/۰۷ ^{ab}	۳۱۰۵/۷۱ ^a
زمان (B)	۴	۰/۱۱ ^a	۰/۲۰ ^{ab}	۰/۰۰۷ ^a	۹۴/۷۱ ^a	۲۲۱/۰۴ ^a
A*B	۸	۰/۰۵ ^{ab}	۰/۰۵ ^{ab}	۰/۰۰۳ ^{ab}	۲۳/۵۹ ^a	۱۱۵/۰۶ ^a
خطا		۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۸۳	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات (%)		۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۸۰	۴/۹۰	۵/۲۰

ns و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر برخی صفات فیزیولوژیک گل محمدی

غلظت آهن (گرم در لیتر)	روز محلول پاشی	آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن نمونه تازه گل)	کارتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر گل)	کلروفیل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای نسبی آب برگ (%)	فنل کل (میکروگرم بر گرم وزن تازه گل)
عدم کاربرد	روز اول	۰/۴۸ ^m	۲/۳۰ ^j	۰/۷۵ ^g	۵۴/۰۰ ^k	۱۱۰/۲۳ ^l
	۱۰	۰/۳۱ ⁿ	۲/۱۷ ^k	۰/۷۱ ^h	۵۱/۰۰ ^l	۱۱۱/۲۳ ⁿ
	۲۰	۰/۲۶ ^o	۲/۱۰ ^l	۰/۶۸ ^h	۵۰/۰۰ ^m	۹۸/۲۷ ^o
۰/۵	روز اول	۰/۶۸ ^l	۲/۴۰ ⁱ	۰/۷۵ ^g	۵۴/۰۰ ^k	۱۱۰/۲۳ ^m
	۱۰	۰/۷۱ ^k	۲/۵۰ ^h	۰/۷۸ ^{fg}	۵۸/۰۰ ^j	۱۴۲/۲۳ ^j
	۲۰	۰/۸۴ ^j	۲/۷۰ ^f	۰/۸۱ ^{cdef}	۶۱/۲۵ ^h	۱۲۰/۲۷ ⁱ
۱	روز اول	۰/۹۸ ⁱ	۲/۶۰ ^g	۰/۷۹ ^{ef}	۶۰/۰۰ ⁱ	۱۱۵/۲۳ ^k
	۱۰	۱/۰۲ ^h	۲/۸۰ ^e	۰/۸۱ ^{def}	۶۲/۰۰ ^g	۱۴۰/۸۵ ^h
	۲۰	۱/۱۱ ^g	۳/۰۰ ^d	۰/۸۵ ^{bc}	۶۵/۰۰ ^e	۱۳۰/۲۷ ^f
۱/۵	روز اول	۲/۰۳ ^c	۳/۱۰ ^c	۰/۸۳ ^{cde}	۶۶/۰۰ ^d	۱۴۰/۲۳ ^d
	۱۰	۲/۱۴ ^b	۳/۲۰ ^b	۰/۸۷ ^{ab}	۷۰/۰۰ ^b	۱۵۷/۸۵ ^b
	۲۰	۲/۲۸ ^a	۳/۴۰ ^a	۰/۹۰ ^a	۷۳/۰۰ ^a	۱۵۰/۲۷ ^a
۲	روز اول	۱/۵۶ ^f	۳/۰۰ ^d	۰/۸۱ ^{c-f}	۶۳/۵۰ ^f	۱۳۰/۲۳ ^g
	۱۰	۱/۷۴ ^e	۳/۱۰ ^c	۰/۸۴ ^{bcd}	۶۸/۰۰ ^c	۱۴۰/۷ ^e
	۲۰	۱/۹۸ ^d	۳/۲۰ ^b	۰/۸۷ ^{ab}	۷۰/۰۰ ^b	۱۴۰/۲۷ ^c

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد آزمون توکی ندارند.

در بررسی شاخص محتوای نسبی آب برگ و فنل مشاهده گردید با افزایش غلظت نانوکلات آهن تا ۱/۵ گرم در لیتر در تمامی روزهای محلول پاشی محتوای نسبی آب و فنل در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشته است. بیشترین محتوای نسبی آب و فنل مربوط به تیمار نانوکلات آهن ۱/۵ گرم در لیتر در روز بیستم محلول پاشی بوده است که در مقایسه با شاهد در حدود ۲۶ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۷).

صفات مربوط به عناصر آهن، منیزیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۸)، اثر ساده و برهم کنش غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر غلظت عناصر آهن، منیزیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ معنی دار بود. بیشترین میزان آهن در برگ گیاهانی ثبت شد که با بیشترین غلظت نانوکلات آهن (دو گرم در لیتر) در روز دهم و بیستم محلول پاشی شده بودند، به طوری که افزایش ۳۴ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. میزان عنصر منیزیم با افزایش غلظت نانوکلات آهن از ۰/۵ تا دو گرم در لیتر افزایش نشان داد. بیشترین غلظت این عنصر مربوط به تیمار دو گرم در لیتر نانوکلات آهن در روز بیستم محلول پاشی بود که افزایش ۳۵ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد داشت (جدول ۹).

از روز اول محلول پاشی تا روز بیستم، در تمامی غلظت‌های مورد آزمایش نانوکلات آهن، غلظت عنصر نیتروژن برگ افزایش نشان داد. حداکثر غلظت نیتروژن در روز بیستم محلول پاشی با غلظت دو گرم در لیتر نانوکلات آهن بود که افزایش ۱۷ درصدی در مقایسه با شاهد داشت. با افزایش غلظت نانوکلات آهن از یک تا دو گرم در لیتر در تمامی روزهای محلول پاشی، افزایش در غلظت عنصر فسفر مشاهده شد. در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش بیست درصدی در میزان عنصر فسفر در گیاهان تیمار شده با دو گرم در لیتر نانوکلات آهن در روز بیستم ثبت شد.

افزایش میزان پتاسیم در گیاهان تیمار شده با غلظت ۱ تا ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن در تمامی روزهای محلول پاشی در مقایسه با عدم کاربرد این کود بود. حداکثر پتاسیم در غلظت دو گرم در لیتر نانوکلات آهن در روز بیستم محلول پاشی ثبت شد (جدول ۹).

جدول ۸. تجزیه واریانس اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر غلظت عناصر موجود در برگ گل محمدی

منابع تغییرات	درجه آزادی	آهن	منیزیم	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
غلظت (A)	۲	۰/۰۴*	۰/۲۲**	۰/۲۲**	۰/۲۲**	۰/۲۴*
زمان (B)	۴	۰/۰۰۱*	۰/۰۸**	۰/۰۷**	۰/۰۶*	۰/۰۴*
A*B	۸	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۲**	۰/۰۱**	۰/۰۲*	۰/۰۳*
خطا		۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات (%)		۱/۹۰	۱/۵۰	۱/۶۰	۱/۷۰	۲/۹۰

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر غلظت و زمان کاربرد نانوکلات آهن بر میزان عناصر مورد بررسی در گل محمدی

غلظت آهن (گرم در لیتر)	روز محلول پاشی	آهن (%)	منیزیم (%)	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)
عدم کاربرد	روز اول	۰/۲۵ ^k	۰/۵۸ ⁱ	۱/۵۸ ⁱ	۱/۲۸ ⁱ	۱/۳۸ ⁱ
	۱۰	۰/۳۴ ^l	۰/۵۶ ⁱ	۱/۵۶ ⁱ	۱/۲۶ ⁱ	۱/۳۶ ^j
	۲۰	۰/۳۲ ^m	۰/۴۸ ^l	۱/۴۸ ^l	۱/۱۸ ^m	۱/۲۸ ^m
۰/۵	روز اول	۰/۲۶ ^j	۰/۴۲ ^m	۱/۴۲ ^m	۱/۱۰ ⁿ	۱/۲۰ ⁿ
	۱۰	۰/۳۷ ⁱ	۰/۷۲ ^k	۱/۵۲ ^k	۱/۲۰ ^l	۱/۳۰ ^l
	۲۰	۰/۳۹ ^h	۰/۵۸ ⁱ	۱/۵۸ ⁱ	۱/۲۵ ^k	۱/۳۵ ^k
۱	روز اول	۰/۳۱ ^g	۰/۵۸ ⁱ	۱/۵۸ ⁱ	۱/۳۵ ^f	۱/۴۵ ^f
	۱۰	۰/۳۳ ^f	۰/۶۱ ^h	۱/۶۱ ^h	۱/۳۱ ^h	۱/۴۱ ^h
	۲۰	۰/۳۳ ^e	۰/۷۲ ^f	۱/۷۲ ^f	۱/۴۴ ^d	۱/۵۴ ^d
۱/۵	روز اول	۰/۳۴ ^d	۰/۶۳ ^g	۱/۶۳ ^g	۱/۳۳ ^g	۱/۴۳ ^g
	۱۰	۰/۳۵ ^c	۰/۷۴ ^d	۱/۷۴ ^d	۱/۴۴ ^d	۱/۵۴ ^d
	۲۰	۰/۳۷ ^b	۰/۸۹ ^b	۱/۸۹ ^b	۱/۵۶ ^b	۱/۶۶ ^b
۲	روز اول	۰/۳۷ ^b	۰/۷۳ ^e	۱/۷۳ ^e	۱/۴۱ ^e	۱/۵۱ ^e
	۱۰	۰/۳۸ ^a	۰/۸۴ ^c	۱/۸۴ ^c	۱/۵۴ ^c	۱/۶۴ ^c
	۲۰	۰/۳۸ ^a	۰/۹۰ ^a	۱/۹۰ ^a	۱/۶۰ ^a	۱/۷۰ ^a

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد آزمون توکی ندارند.

عناصر ریزمغذی برای فرآیند رشد و نمو گیاهی ضروری است. این مواد با دخالت در واکنش‌های مرتبط با فرآیند مذکور، سبب بهبود خصوصیات کمی و کیفی می‌شوند (Jayakumar et al., 2024). نانوذرات نسبت سطح به حجم بالایی داشته و به دلیل داشتن ذره‌های یکسان، ظرفیت استفاده کاربردی‌تری را دارا هستند (El-Mahrouk et al., 2024). نانوکودها علاوه بر افزایش بهره‌وری، سبب به حداقل رسانیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود، همچنین کاهش دفعات کودپاشی می‌شوند (El-Mahrouk et al., 2024).

در پژوهش حاضر، محلول‌پاشی نانوکلات آهن به‌ویژه در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر و در روز بیستم بعد از شروع رشد جوانه‌زنی بوته در فصل بهار، سبب بهبود قابل توجه و موردانتظار در صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه شد. در این پژوهش، محلول‌پاشی با گذشت زمان و در روز بیستم تاثیر معنی‌داری بر بهبود اغلب صفات موردبررسی در مقایسه با روز اول و دهم محلول‌پاشی نشان داد. احتمالاً با گذشت زمان با توجه به افزایش سطح و توان فتوسنتزی گیاه، قابلیت بوته‌ها در جذب و به‌کارگیری نانوکلات آهن افزایش یافته است. افزون‌بر آن، بهبود بیشتر صفات در روز بیستم محلول‌پاشی احتمالاً مربوط به افزایش درجه حرارت هوا و به دنبال آن، افزایش تعریق در گیاه و در نهایت، افزایش جذب نانوکلات آهن از روزه‌های آبی و هوایی می‌باشد (Ayyat et al., 2023). به‌طور مشابه، نتایج پژوهشی نشان داد محلول‌پاشی برگ کلات آهن، سبب بهبود پارامترهای مورفوفیزیولوژیک از قبیل تعداد برگ، ارتفاع گیاه، ارتفاع ساقه گل‌دهنده و قطر گل در گیاه ژربرا شد (Mirzaee Esgandian et al., 2020). نتایج پژوهشی دیگر حاکی از آن بود که محلول‌پاشی گلابول رقم میرلا به‌وسیله عناصر ریزمغذی آهن، روی و مس، سبب بهبود خصوصیات رشدی و کیفیت گل‌چه‌ها گردید (Fahad et al., 2014). محلول‌پاشی بوته‌های سه‌ساله گل رز به‌وسیله نانوکلات‌های روی، آهن و سولفات مس، سبب تحریک تولید شاخه‌های ثانویه، افزایش طول جوانه، قطر گل، تعداد گلبرگ و تعداد گل گردید (Ahmad et al., 2010).

در نتایج پژوهش حاضر، بهبود رشد در صفات مورفولوژیک موردبررسی از جمله اندازه گلبرگ، نهنج گل، برگ، طول و قطر ساقه گل‌دهنده مشاهده شد. می‌توان چنین بیان کرد کاربرد آهن به‌صورت محلول‌پاشی باعث افزایش جذب این عنصر توسط برگ‌ها شد و با افزایش غلظت آهن در برگ، افزایش میزان کلروفیل اتفاق افتاد. بنابراین به دلیل افزایش رنگ‌دانه کلروفیل، افزایش در فتوسنتز صورت می‌گیرد که سبب بهبود خصوصیات مورفولوژیک در گیاه می‌گردد. در پژوهشی دیگر گزارش شده است که افزایش غلظت آهن سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز می‌گردد و در نتیجه، مقدار آسمیلات‌های تولیدی در گیاه افزایش یافته و منشأ بهبود رشد گیاه می‌شوند (Shahrajabian et al., 2023).

در بررسی تاثیر محلول‌پاشی آهن (کلات آهن: یک و ۱/۵ گرم بر لیتر و نانوکلات آهن: ۰/۵، ۱/۱۵ گرم بر لیتر)، بر عملکرد گیاه ریحان، بیشترین میزان عملکرد گیاه در برداشت اول در تیمار محلول‌پاشی یک گرم بر لیتر نانوکلات آهن به‌دست آمد. همچنین نانوکلات آهن یک گرم بر لیتر سبب تولید بالاترین میزان اسانس، عملکرد اسانس و میزان ماده مؤثره اوژنول در برداشت دوم شد (Danaee & Abdossi, 2021). پژوهشی دیگر، روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد گل محمدی را در بیست ژنوتیپ موردبررسی قرار دادند؛ تجزیه هم‌بستگی نشان داد که میان برخی از صفات مورد مطالعه نظیر تعداد گل در بوته و عملکرد گل، رابطه معنادار و مثبتی وجود دارد (Shahrajabian et al., 2023).

در پژوهش حاضر، با کاربرد آهن، افزایش در محتوای رنگ‌دانه‌های کلروفیل، آنتوسیانین و کارتنوئید مشاهده شد. گزارش شده است با کاربرد آهن مقدار رنگ‌دانه‌های غیرآنژیومی افزایش می‌یابد و از تخریب رنگ‌دانه کلروفیل جلوگیری می‌شود که غیرمستقیم بر میزان افزایش آنتوسیانین و کارتنوئید مؤثر می‌باشد (Khan et al., 2024).

در آزمایشی، تاثیر کودهای درشت‌مغذی و ریزمغذی بر کمیت و کیفیت گل محمدی در شرایط مزرعه‌ای موردبررسی قرار گرفت: کاربرد دوازده گرم کود نانوکلات آهن به‌صورت محلول‌پاشی در هر بوته به‌طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد گیاه را نسبت به سایر فرم‌های کودی آهن افزایش داد (Khan et al., 2024). عملکرد دوازده ژنوتیپ گل محمدی در سه کشت دیم، آبی و دیم همراه با مالچ در کنار محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانوکلات آهن مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، اندازه،

وزن تر و آنتوسیانین گلبرگ در هر سه کشت، ارتباط مستقیمی با محلول پاشی نانوکلات آهن داشت. صفات تعداد گل در هکتار، عملکرد اسانس در هکتار، ارتفاع بوته اگرچه به طور مستقیم در افزایش عملکرد نقش نداشتند اما اثرگذاری غیرمستقیم در افزایش عملکرد گل محمدی از طریق افزایش وزن تر گلبرگ داشتند؛ بنابراین، می توان از آنها به عنوان شاخصی برای انتخاب درجهت بهبود عملکرد گل استفاده نمود (Pérez et al., 2023). پژوهش دیگری اثرگذاری کود سولفات آهن ۴۰٪ و کود دامی را بر اندازه گل و میزان رشد بوته های گل محمدی مورد بررسی قرار داد، نتایج نشان داد که کاربرد بیست کیلوگرم در هکتار کود آهن در ترکیب با چهل کیلوگرم در هکتار فسفر و چهل کیلوگرم در هکتار پتاسیم به همراه پانزده تن در هکتار کود دامی، رشد و عملکرد خوبی را در بوته های گل محمدی تضمین می نماید (Hamed et al., 2022).

در پژوهش حاضر، در بررسی شاخص محتوای نسبی آب مشاهده گردید با افزایش غلظت نانوکلات آهن تا ۱/۵ گرم در لیتر در تمامی روزهای محلول پاشی، محتوای نسبی آب در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشته است. این افزایش آب نسبی، احتمالاً به دلیل افزایش ظرفیت اسمزی سلول ها، افزایش محتوای کربوهیدرات محلول در گیاه به دلیل افزایش فتوسنتز، افزایش سطح برگ، افزایش تعریق در گیاه و در نهایت، افزایش جذب آب به دلیل افزایش غلظت آهن در گیاه بوده است (Pinton et al., 1999).

در آزمایش حاضر، کاربرد نانوکلات آهن به ویژه در روز بیستم سبب افزایش غلظت عناصر آهن، منیزیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در مقایسه با تیمار شاهد گردید. همبستگی مثبتی بین افزایش عناصر موجود در برگ و صفات مورفوفیزیولوژیک مورد بررسی وجود داشته است. مطابق با یافته های پژوهش حاضر، کاربرد کودهای شیمیایی حاوی آهن در گل محمدی رقم ماسکو-اردابر درصد تجمع عناصر در برگ تأثیر معنی داری داشته است (Kasem et al., 2023). در پژوهشی دیگر روی دو ژنوتیپ گل محمدی، گیاهان تیمار شده با عناصر ریزمغذی دارای بالاترین عناصر در گلبرگ بودند (Kumar et al., 2023) و آزمایشی روی گل محمدی گزارش داد که میزان نیتروژن برگ های تیمار شده با مقادیر مختلف نانوکلات آهن بیشتر از گیاهان شاهد بوده است (González-García et al., 2023).

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، غلظت ۱/۵ گرم در لیتر نانوکود آهن در روز بیستم محلول پاشی تأثیر معنی داری در مقایسه با دیگر غلظت ها و زمان های مورد استفاده در بهبود بیشتر صفات مورفولوژیک از جمله تعداد گل، طول گلبرگ، اندازه نهج و برگ داشت. در غلظت دو گرم در لیتر نانوکلات آهن بیشترین غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن و منیزیم در گیاه ثبت شد. باتوجه به اینکه در بیشتر مزارع کشت گل محمدی در استان مازندران کمبود عناصر ریزمغذی وجود دارد، بنابراین پیشنهاد می شود محلول پاشی با کود نانوکلات آهن در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر بعد از جوانه زنی بوته ها و در شروع توسعه برگ ها صورت گیرد.

منابع

- ایوبی، احمد؛ عیسوند، حمیدرضا؛ حیدری، سعیدوموسوی فرد، صادق. (۱۴۰۲). بررسی تاثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.). پژوهش های زعفران، ۱۱(۱): ۶۶-۷۸.
- پورچراغی، حسین؛ مهربانی، فاطمه و صفدری، علی. (۱۳۹۸). خواص درمانی گل محمدی؛ یک مطالعه موردی. پنجمین کنگره کشوری کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان.
- حسن پور اقدم، محمدباقر؛ ابراهیم زاده، اصغر؛ اعظمی، محمدعلی؛ ملکیان، ستار؛ صالح زاده، مهرداد و وجودی مهربانی، لمیا. (۱۴۰۱). تأثیر موقعیت جوانه و تنظیم کننده های رشد بر ریزافزایی گل محمدی. علوم و فنون باغبانی ایران، ۲۳(۳): ۴۸۵-۴۹۶.
- صمدیان ساربانقلی، وحیده؛ طبائی عقدائی، سیدرضا؛ عباس زاده، بهلول و لباسچی؛ محمدحسین. (۱۳۹۳). اثر کودهای تلفیقی و محلول پاشی کلات آهن بر عملکرد کمی گل محمدی. بوم شناسی گیاهان زراعی، ۱۰(۱): ۷۳-۸۱.
- صمدیان ساربانقلی، وحیده؛ عباس زاده، بهلول؛ سفیدکن، فاطمه و یارنیا، مهرداد (۱۴۰۱). اثر کودهای زیستی بر خصوصیات مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge) تحت شرایط تنش آبیاری در مراحل مختلف رشد. تحقیقات گیاهان دارویی ایران، ۴۰(۱): ۱۴۲-۱۵۴.
- عباس زاده، بهلول (۱۳۹۶). واکنش کمی و کیفی گل محمدی (*Rosadamascene* Mill.) به کاربرد عنصرهای غذایی. علوم باغبانی ایران، ۴۸(۴): ۹۲۱-۹۳۲.

REFERERNCES

- Ahmad, I.; Khan, M. A.; Qasim, M.; Ahmad, R. & Randhawa, M. A. (2010). Growth, yield and quality of *Rosahybrida* L. as influenced by various micronutrients. *Pakistan Journal of Agriculture Science*, 47(1): 5-12.
- Ainsworth, E. A., & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature protocols*, 2(4): 875-877.
- Ayyat, A. M.; Hewidy Mahmoud Ramadan, M.; Gahory, A. & Abdel-Mola, M. (2023). Biochar Combined with Foliar Application of Chelated and Nano Iron Enhanced Qualitative and Quantitative Attributes of *Polianthes tuberosa* L. *Plants. Egyptian Journal of Horticulture*, 50(1): 17-33.
- Black, J. R.; Epstein, E.; Rains, W. D.; Yin, Q. Z. & Casey, W. H. (2008). Magnesium-isotope fractionation during plant growth. *Environmental Science & Technology*, 42(21): 7831-7836.
- Cakmak, I.; Brown, P.; Colmenero-Flores, J. M.; Husted, S.; Kutman, B. Y.; Nikolic, M., & Zhao, F. J. (2023). Micronutrients. In *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*: 283-385. Academic Press.
- Cox, A. E.; Joern, B. C.; Brouder, S. M. & Gao, D. (1999). Plant available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Science Society of America Journal*, 63(4): 902-911.
- Danaee, E. & Abdossi, V. (2021). Effect of foliar application of iron, potassium, and zinc nano-chelates on nutritional value and essential oil of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Food & Health Journal*, 4(4): 13-20.
- Darvishpour, S.; Hosseini, A.; Davoodi, A.; Salehifar, E.; Akbari, J. & Azadbakht, M. (2018). A review on medicinal plants used for nausea and vomiting in Persian medicine. *Global Journal of Medical Researchs*, 18(1): 29-45.
- Dayani, S.; Mazaheri-Tirani, M. & Hosseini, R. (2024). 14 Physiological of Plants to Nanoparticles Responses and Chelating Agents. *Advanced Nanotechnology in Plants: Methods and Applications*: 213.
- El-Gioushy, S. F.; Ding, Z.; Bahloul, A. M.; Gawish, M. S.; Abou El Ghit, H. M.; Abdelaziz, A. M. & Zewail, R. M. (2021). Foliar application of nano, chelated, and conventional iron forms enhanced growth, nutritional status, fruiting aspects, and fruit quality of washington navel orange trees (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Plants*, 10(12): 2577.
- El-Mahrouk, E. S. M.; Atef, E. A. M.; Gabr, M. K.; Aly, M. A.; Głowacka, A. & Ahmed, M. A. (2024). Application of ZnO NPs, SiO₂ NPs and date pollen extract as partial substitutes to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers for sweet basil production. *Plants*, 13(2): 172.
- Fahad, S.; Ahmad, M.; Akbar Anjum, M. & Hussain, S. (2014). The effect of micronutrients (B, Zn and Fe) foliar application on the growth, flowering and corm production of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) in calcareous soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(7): 1671-1682.
- Fageria, N.K.; Baligar, V.C. & Wright, R.J. (1990). Iron nutrition of plants: An overview on the chemistry and physiology of its deficiency and toxicity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 25(4): 553-570.
- Gallaher, R. N.; Weldon, C. O. & Boswell, F. C. (1976). A semiautomated procedure for total nitrogen in plant and soil samples. *Soil Science Society of America Journal*, 40(6): 887-889.
- González-García, I.; Riaño, B.; Molinuevo-Salces, B. & García-González, M. C. (2023). Effect of alkali and membrane area on the simultaneous recovery of nitrogen and phosphorous from digestate by membrane technology and chemical precipitation. *Sustainability*, 15(5): 39-59.
- Hamed, B.; Ghasemi Pirbalouti, A. & Rajabzadeh, F. (2022). Responses to morpho-physiological, phytochemical, and nutritional characteristics of damask rose (*Rosadamescena* Mill.) to the applied of organic and chemical fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(17): 2156-2169.
- Jayakumar, S.; Abhangrao, A. K.; Sarje, R. A.; Gupta, R.; Pathania, S. & Sree, B. V. (2024). Critical

- Analysis on Effect of Micronutrients on Flowering Plants: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(6): 776-782.
- Karp, H.; Ekholm, P.; Kemi, V.; Itkonen, S.; Hirvonen, T.; Närkki, S. & Lamberg-Allardt, C. (2012). Differences among total and in vitro digestible phosphorus content of plant foods and beverages. *Journal of Renal Nutrition*, 22(4): 416-422.
- Kasem, M.; El-Banna, M. F. & El-Shawa, G. M. (2023). Calcium Nanoparticles Intermixed with Salicylic Acid Affect Enzymes Activities and Postharvest Attributes of Cut Rose (*Rosa hybrida* Cv. *BlackMagic*). *Journal of Plant Production*, 14(2): 85-95.
- Katyal, J. C. & Sharma, B. D. (1980). A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant and Soil*, 55: 105-119.
- Khaleghi, A. & Khadivi, A. (2020). Morphological characterization of Damask rose (*Rosa* × *damascena* Herrm.) germplasm to select superior accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67: 1981-1997.
- Khan, S. U.; Khan, M. S.; Wang, H.; Qian, M.; Javed, T.; Fahad, S. & Lu, K. (2024). Harnessing nanobiotechnology for drought stress: transforming agriculture's future; what, why and how?. *Environmental Science*, 7: 11-23.
- Kiani, S.H. (2012). Effects of iron on efficiency and map of photosystem II photochemical yield of rose flower using chlorophyll fluorescence imaging. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 2(4): 25-35.
- Koocheki, A. & Seyyedi, S. M. (2016). Effects of corm size, organic fertilizers, Fe-EDTA and Zn-EDTA foliar application on nitrogen and phosphorus uptake of saffron (*Crocus sativus* L.) in a calcareous soil under greenhouse conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 8(4): 461-467.
- Kumar, N.; Samota, S. R.; Venkatesh, K. & Tripathi, S. C. (2023). Global trends in use of nano-fertilizers for crop production: Advantages and constraints—A review. *Soil and Tillage Research*, 228: 105645.
- Labban, L. & Thallaj, N. (2020). The medicinal and pharmacological properties of Damascene Rose (*Rosadamascena*): A review. *International Journal of Herbal Medicine*, 8: 33-37.
- Layeghhaghighi, M.; Hassanpour Asil, M. & Abbaszadeh, B. (2016). Effect of nano chelated iron on essential oil percentage and essential oil compounds of *Rosa damascene* Mill. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(1): 138-146. [In Persian]
- Min, L.U.; Huaming, A.N. & Daoping, W.A.N. G. (2017). Characterization of amino acid composition in fruits of three *Rosa roxburghii* genotypes. *Horticultural Plant Journal*, 3(6): 232-236.
- Mirzaee Esgandian, N.; Jabbarzadeh, Z. & Rasouli-Sadaghiani, M. H. (2020). Investigation on some morphological and physiological characteristics of *Gerbera jamesonii* as affected by humic acid and nano-calcium chelate in hydroponic culture conditions. *Journal of Ornamental Plants*, 10(1): 1-13.
- Ovais, M.; Khalil, A.T.; Ayaz, M. & Ahmad, I. (2020). Metal oxide nanoparticles and plants. In *Phytonanotechnology*: 123-141. Elsevier.
- Pérez, M.C.L.; Labrada, F.P.; García, Y.G. & Maldonado, A. J. (2023). Nano-Based methods for the improvement of postharvest technologies and increased shelf life of minimally processed food. In *Postharvest Nanotechnology for Fresh Horticultural Produce*: 422-454. CRC Press.
- Pinton, R.; Cesco, S.; Santi, S.; Agnolon, F. & Varanini, Z. (1999). Water-extractable humic substances enhance iron deficiency responses by Fe-deficient cucumber plants. *Plant and Soil*, 210: 145-157.
- Salehi, R.; Maleki, A.; Mirzaei, M.; Rangin, A. & Mirzaei, A. (2022). The Effect of Foliar Application of Iron and Proline Nanoparticles on Biochemical, Physiological and Agronomic Traits of Quinoa Plant in Different Cultivation Dates. *Research On Crop Ecophysiology*, 17(2): 130-146.
- Shahrajabian, M.H.; Marmitt, D.J.; Cheng, Q. & Sun, W. (2023). Natural antioxidants of the underutilized and neglected plant species of Asia and South America. *Letters in Drug Design & Discovery*, 20(10): 1512-1537.

- Smart, R.E. & Bingham, G.E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant physiology*, 53(2): 258-260.
- Strack, D. & Wray, V. (1989). Anthocyanins. In *Methods in plant biochemistry* (Vol. 1): 325-356. Academic Press.