The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Positive effects of foliar application of silica and potassium nanoparticles on the leaf and fruit characteristics of 'Zard' olive cultivar

Javad Erfani-Moghadam [1], Abdolkarim Zarei ✉ [2], Somayeh Hashemi [3] Abbas Shirmardi [4]

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: j.erfani@ilam.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetic (Biotechnology), Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran. E-mail: zarei@jahromut.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: sh013601361@gmail.com
4. Department of Chemistry, Masjed Soleiman University, Iran. E-mail: ashirmardi.abbas@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 20 July 2024

Received in revised form: 22 October 2025

Accepted: 2 March 2025

Published online: Summer 2025

Keywords:

Olive,

Nanofertilizer,

Foliar spraying,

Synergistic effects,

Fruit pulp.

ABSTRACT

Effects of foliar application of silica (Si) and potassium (K) nanoparticles were evaluated on the leaf and fruit attributes of the 'Zard' olive cultivar. Potassium nanoparticles (0, 400, and 800 mg L^{-1}) and silica nanoparticles (0, 30, and 60 mg L^{-1}) were sprayed on the trees at two points during the growing season: early May and early July. The study was conducted as a factorial experiment in a completely randomized block design with three replications.

Measured traits included leaf characteristics, fruit fresh and dry weight, pulp-to-stone ratio, fruit dimensions, and Si and K content in both leaves and fruits. According to the results, most of the evaluated traits were significantly affected by foliar application of Si and K. Application of Si and K nanofertilizers increased the leaf area index, with the greatest leaf length observed in trees treated with 400 mg L^{-1} K and 30 mg L^{-1} Si. Both K and Si treatments improved fruit characteristics; however, the effect of K was more pronounced than that of Si. Among all treatments, the combined application of 800 mg L^{-1} K and 60 mg L^{-1} Si produced the most favorable fruit traits. Foliar spraying also significantly increased Si and K content in leaves and fruits.

Overall, the findings indicate strong synergistic interactions between Si and K, suggesting that their combined application can be recommended to enhance the yield and performance of olive trees.

Cite this article: Erfani-Moghadam, J., Zarei, A., Hashemi, S. & Shirmardi, A. (2025). Positive effects of foliar application of silica and potassium nanoparticles on the leaf and fruit characteristics of 'Zard' olive cultivar. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (2), 341-356. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.379391.2188

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.379391.2188

Extended Abstract

Introduction

Olive (*Olea europaea* L.), a member of the Oleaceae family, is one of the oldest fruit crops domesticated by humans. Although native to Asia Minor and the eastern Mediterranean, its cultivation has expanded widely beyond its natural range due to its remarkable adaptability to diverse climatic conditions and its considerable economic and health-promoting value. Today, the olive is regarded as an important industrial crop worldwide and is cultivated across five continents.

Proper orchard management is a key factor influencing the productivity of tree crops. Foliar fertilization during the growing season is an effective method for supplying essential nutrients to olive trees, particularly under dry conditions and in calcareous soils. The use of agrochemicals to enhance crop productivity has become an integral component of modern agriculture to meet the demands of a growing global population and increasing need for agricultural products. However, the intensive application of synthetic fertilizers has led to soil degradation and nutrient imbalance. Sustainable agriculture therefore relies on strategies that improve nutrient use efficiency and minimize the detrimental environmental effects of agrochemicals.

The use of nanoparticle-based nutrients represents a promising approach to promoting plant performance while supporting sustainable agricultural practices. Due to their extremely small particle size (<100 nm), nanofertilizers possess large surface areas, enabling slow and controlled nutrient release and facilitating efficient uptake through foliar or soil application. These properties provide higher reactivity and improved nutrient availability compared with conventional fertilizers, ultimately enhancing nutrient use efficiency and reducing the negative impacts of synthetic inputs on agricultural ecosystems.

Materials and methods

The effects of foliar application of silica (Si) and potassium (K) nanoparticles were investigated on the leaf and fruit characteristics of the 'Zard' olive cultivar. Potassium nanoparticles (0, 400, and 800 mg L^{-1}) and silica nanoparticles (0, 30, and 60 mg L^{-1}) were sprayed on the trees twice during the growing season—once in early May and again in early July. The study was conducted as a factorial experiment in a completely randomized block design with three replications. Measurements included leaf traits, fruit fresh and dry weight, pulp-to-stone ratio, fruit dimensions, and Si and K concentrations in both leaves and fruits.

Results and discussion

The foliar application of silica (Si) and potassium (K) significantly influenced most of the studied traits. Both Si and K nanofertilizers enhanced the leaf area index, with the greatest leaf length observed in trees treated with 400 mg L^{-1} K and 30 mg L^{-1} Si.

Our results indicated that while both K and Si treatments improved fruit characteristics, the effect of K was more pronounced than that of Si. The simultaneous application of 800 mg L^{-1} K and 60 mg L^{-1} Si yielded the most favorable fruit characteristics. Specifically, the application of Si and K, both individually and in combination, increased the fleshy portion of the fruit. The highest pulp-to-stone ratio (3.13) was recorded with 800 mg/L K and 60 mg/L Si, whereas the control group exhibited the lowest ratio (1.8). The greatest fruit dry weight was achieved with the application of 400 mg/L K and 60 mg/L Si.

Foliar application of both Si and K substantially increased their respective content in olive leaves and fruits. While Si content did not differ significantly between leaves and fruits, K content was significantly higher in the fruit than in the leaves.

The results suggest that Si foliar application positively impacts both vegetative and fruit characteristics of olive trees, partly by enhancing essential nutrient absorption and also through its triggering effects on physiological processes within plant cells, such as antioxidant enzyme activity. Therefore, the inclusion of Si foliar spraying in olive fertilization programs is recommended to improve olive performance.

Overall, this investigation revealed strong synergistic effects between Si and K, supporting the recommendation for their simultaneous application to enhance olive tree yield.

Conclusion

Considering the demand for innovative and environmentally friendly fertilization methods that enhance fruit crop productivity over conventional synthetic chemical fertilizers, this study investigated the effects of potassium (K) and silica (Si) nanoparticles on the vegetative and fruit attributes of the 'Zard' olive cultivar.

Both K and Si nanofertilizers significantly supported higher yield in the 'Zard' olive cultivar. While individual applications of these nanofertilizers improved olive plant characteristics, the synergistic effects observed when K and Si were applied together proved more beneficial than their separate use, highlighting a strong interaction between these two nutrients.

Our findings demonstrate that applying nutrients in the form of nanofertilizers can enhance olive productivity and optimize nutrient use efficiency. This approach holds the potential to reduce agricultural production costs and minimize nutrient losses from leaching and volatilization.

Author Contributions

J. Erfani-Moghadam, A. Zarei, and A. Shirmardi conceived and planned the experiments. S. Hashemi carried out the experiments. J. Erfani-Moghadam and A. Zarei analyzed data. A. Zarei wrote the first manuscript. J. Erfani-Moghadam, A. Zarei contributed to the interpretation of the results. All authors provided critical feedback and helped shape the research, analysis and manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank Ilam University for the financial 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.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۶، شماره ۲

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

اثرات مفید محلول‌پاشی نانوذرات سیلیس و پتاسیم بر ویژگی‌های برگ و میوه زیتون رقم زرد

جواد عرفانی مقدم[۱]| عبدالکریم زارعی✉[۲]| سمیه هاشمی[۳]| عباس شیر مردی[۴]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام ایران. رایانامه: j.erfani@ilam.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران. **نویسنده مسئول**. رایانامه:zarei@jahromu.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: sh013601361@gmail.com

۴. گروه شیمی، دانشگاه مسجد سلیمان، ایران. رایانامه: ashirmardi.abbas@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

زیتون، محلول‌پاشی، نانوذرات، اثرات هم‌افزایی، قسمت گوشتی میوه.

چکیده

اثرات محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم و سیلیس به‌شکل نانوذرات بر برخی ویژگی‌های رویشی درخت و صفات کمی و کیفی میوه زیتون رقم زرد بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. نانوذرات پتاسیم در سه غلظت صفر، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سیلیس در سه غلظت صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله در اواسط اردیبهشت و تیر بر روی درختان زیتون محلول‌پاشی شدند. برخی ویژگی‌های درخت شامل طول و عرض برگ و همچنین صفات مربوط به میوه و محتوی سیلیس و پتاسیم در میوه و برگ زیتون ارزیابی شدند. بیشتر صفات مورد بررسی تحت‌تأثیر تیمارها قرار گرفته و در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند. کاربرد نانوکود پتاسیم و سیلیس باعث افزایش سطح برگ گردید، به‌طوری‌که بیشترین طول برگ در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیس مشاهده گردید. نتایج کلی نشان داد هر دو عنصر پتاسیم و سیلیس اثر مثبتی روی صفات مورفولوژیک میوه داشتند، اما اثرات عنصر پتاسیم نسبت به عنصر سیلیس بیشتر بود. در مورد صفات مربوط به میوه، تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیس باعث پاسخ مناسب‌تری نسبت به بقیه تیمارها گردید. تفاوت معنی‌داری در غلظت سیلیس و پتاسیم برگ و میوه بین گیاهان تیمار شده و شاهد مشاهده شد. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش بیانگر اثرات هم‌افزایی بین سیلیس و پتاسیم بود به‌طوری‌که کاربرد هم‌زمان این دو عنصر باعث بهبود صفات مورد ارزیابی گردید.

استناد: *عرفانی مقدم، جواد؛ زارعی، عبدالکریم؛ هاشمی، سمیه و شیرمردی، عباس* (۱۴۰۴). اثرات مفید محلول¬پاشی نانوذرات سیلیس و پتاسیم بر ویژگی‌های برگ و میوه زیتون رقم زرد. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۶ (۲)، ۳۵۶-۳۴۱. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.379391.2188

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.379391.2188

مقدمه

زیتون (*Olea europaea* L.) یکی از قدیمی‌ترین درختان میوه می‌باشد که توسط بشر اهلی شده و مورد کشت‌وکار قرار گرفته است. این میوه از مهم‌ترین محصولات باغی کشور می‌باشد که در سال‌های اخیر پرورش آن به‌دلیل ارزش غذایی بالای میوه و روغن آن و نیز تحمل نسبی درخت نسبت به شرایط نامساعد محیطی توسعه یافته است، به‌طوری‌که امروزه بیش از ۷۱۰۰۰ هکتار از زمین‌های ایران به کشت این درخت اختصاص پیدا کرده و سالیانه بیش از ۴۷۰۰۰ تن میوه زیتون در ایران تولید می‌شود (Razeghi-Jahromi *et al.*, 2021). به‌دلیل ظرفیت بالای رشد زیتون در مناطق مختلف و سازگاری بالا به انواع اقلیم‌ها از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک، همچنین اهمیت اقتصادی این محصول و ترکیبات زیست فعال آن به‌خصوص به‌واسطه ترکیبات روغن میوه و تقاضای بالا، اهمیت مطالعه و بررسی اثرات فاکتورهای مختلف روی بهبود کمی و کیفی محصول این میوه افزایش یافته است (Vishekaii *et al.*, 2019).

تغذیه مناسب یکی از عوامل اصلی رشد درختان میوه می‌باشد که در عملکرد بهینه درخت و کیفیت میوه تأثیر بسیار زیادی دارد (Abdolahi *et al.*, 2024). پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر درشت‌مغذی، نقش تعیین‌کننده در رشدونمو گیاهان دارد. گیاهان به پتاسیم زیادی نیاز دارند و از نظر میزان مصرف در بین عناصر معدنی، این عنصر بعد از نیتروژن در ردیف دوم قرار داشته و در فرایندهای گیاهی متعددی ازجمله فتوسنتز، تنفس، سنتز پروتئین و فعال‌سازی آنزیم‌ها (Mengel, 2007)، جذب و انتقال یون‌ها، بهبود درصد تشکیل و رشد میوه و در نهایت، عملکرد و کیفیت میوه (Fageria *et al.*, 2010; Abdolahi *et al.*, 2024) نقش مستقیم دارد. پتاسیم نقش قابل‌توجهی در تأمین رشد، کاهش اثرات سوء ناشی از تنش‌ها، افزایش عملکرد و بهبود کیفی محصول، از جمله طول دوره انبارداری، بازارپسندی و ارزش اقتصادی آن دارد (Larbi *et al.*, 2020). این عنصر به‌صورت یک یون آزاد در فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متعددی دخالت دارد، از جمله نقش کلیدی در تنظیم اسمزی و حفظ فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، نمو سلول، کنترل تعرق و فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی دارا می باشد. این عنصر شدت فتوسنتز و سرعت انتقال مواد ساخته‌شده در برگ‌ها را از طریق آوند آبکش به بافت‌های ذخیره‌ای افزایش می‌دهد و به‌همین‌دلیل عملکرد و کیفیت میوه را بهبود می‌بخشد (Larbi *et al.*, 2020; Restrepo-Diaz *et al.*, 2008). پتاسیم همچنین نقش مهمی در گل‌دهی درختان میوه دارد. اگرچه ممکن است میزان پتاسیم کل در خاک‌ها زیاد باشد، اما بخش عمده‌ای از آن برای گیاهان غیرقابل‌جذب می‌باشد. با توجه به این‌که هر سال میزان بالایی از پتاسیم با برداشت میوه از درخت زیتون خارج می‌شود، این درخت به پتاسیم بسیار زیادی نیاز دارد (Busso *et al.*, 2022). پتاسیم نقش مهمی در فعالیت‌های آنزیمی و سنتز اسیدهای آمینه و اسیدهای فنولی در درختان زیتون دارد و گزارش شده است کمبود پتاسیم موجب کاهش تعداد گل‌ها و تشکیل میوه و کاهش عملکرد می‌گردد (Haberman *et al.*, 2019).

مصرف بیش‌ازحد کودهای شیمیایی، منابع خاکی و آبی جهان را تحت‌تأثیر قرار داده و منجر به بروز صدماتی به محیط‌زیست از جمله فرآیند مردابی شدن در اکوسیستم‌های آبی می‌شود. در این راستا، استفاده از نانوکودها به‌منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر در دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط‌زیست باشد (Vishekaii *et al.*, 2019). طی دهه گذشته، استفاده تجاری و تحقیقاتی از نانوتکنولوژی در کشاورزی افزایش روزافزون داشته است (Kamalizadeh et al., 2019). نانوذرات دارای عناصر مغذی پرمصرف و یا کم‌مصرف را کودهای نانو می‌نامند (Shang *et al.*, 2019). این کودها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصربه‌فردی دارند که آنها را نسبت به کودهای شیمیایی معمول (سنتی) در جایگاه برتر قرار می‌دهد و ابعاد کوچک این کودها (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) موجب کارآیی بیشتر آنها نسبت به انواع کودهای سنتی شده است (Seleiman *et al.*, 2021). به‌علت اندازه بسیار کوچک، مواد نانو از قبیل کودهای نانو نسبت سطح به حجم بسیار بالایی دارند که این ویژگی باعث می‌شود در مقایسه با کودهای شیمیایی حجیم‌تر سنتی، ظرفیت جذب و نگهداری بیشتری داشته باشند (Babu *et al.*, 2022). به‌علت سطح بالا، این کودها مواد مغذی بیشتری نسبت به کودهای شیمیایی سنتی داشته و این مواد را به آهستگی در اختیار گیاه قرار داده و سازگاری بیشتری با محیط‌زیست دارند، به‌طوری‌که نسبت به همتاهای سنتی

خود هدررفت کمتری از طریق آب‌شویی، تبخیر و گازی‌شکل دارند (Babu *et al.*, 2022). رها شدن آهسته و تدریجی مواد مغذی از کودهای نانو، قدرت یونیزه‌شدن بالا، پایداری شیمیایی بهتر، افزایش قدرت جذب، کشش سطحی بیشتر و افزایش پایداری پی‌اچ ازجمله مزایای کودهای نانو در مقایسه با انواع سنتی می‌باشد (Seleiman *et al.*, 2021).

سیلیس به‌عنوان یکی از عناصر غیرضروری ولی مفید برای گیاهان مدّنظر می‌باشد. به‌دلیل خواص فیزیولوژیک مفید سیلیس در محصولات باغی، مصرف آن روزبه‌روز در حال افزایش است (Olyaie Torshiz *et al.*, 2020; Abdolahi *et al.*, 2024). هر چند سیلیس به‌عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان در نظر گرفته نمی‌شود، ولی همه گیاهان خاکزی مقداری سیلیس در خود انباشته می‌کنند و بر این اساس گیاهان به سه دسته دارای سیلیس زیاد (بیش از ۱ درصد وزن خشک)، متوسط (بین ۱–۰/۵ درصد وزن خشک) و سیلیس بسیار کم (کمتر از ۰/۵ درصد وزن خشک) تقسیم می‌شوند (Debona et al., 2017; Martos-García et al., 2024). گیاهان تک‌لپه در مقایسه با گیاهان دولپه، سیلیس بیشتری را جذب و در سلول‌های خود ذخیره می‌کنند به‌طوری‌که میزان این عنصر در برخی گیاهان علفی آبزی (wetland grasses) بین ۵ تا ۷ درصد وزن خشک می‌رسد (Debona et al., 2017). محتوی سیلیس در درختان میوه بسیار کمتر از این حد بوده و این میزان در شاخه‌های زیتون حدود ۰/۰۳۲ درصد وزن خشک گزارش شده است (Hodson et al., 2005).

پیشینه پژوهش

بررسی اثرات سه عنصر درشت‌مغذی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر کیفیت روغن زیتون رقم بارنیا (Barnea) کشت‌شده در گلدان، نشان داد که شاخصه‌های کیفی روغن زیتون مرتبط با میزان نیتروژن در برگ‌ها و میوه می‌باشد (Erel *et al.*, 2013). همچنین گزارش شده که پتاسیم تأثیر چندانی بر کیفیت روغن نداشته، در حالیکه تأثیرات فسفر غیرمستقیم بوده و کاربرد فسفر منجر به تجمع بیشتر نیتروژن گردیده است (Erel *et al.*, 2013). کاربرد نیترات پتاسیم به فرم محلول‌پاشی باعث تسریع در رسیدن میوه و افزایش سطح برگ، اندازه میوه، نسبت هسته میوه و پلی‌فنول‌های آن گردید، درحالی‌که تغییری در اسیدهای چرب و محتوی روغن آن ایجاد نکرد (Ben Mimoun et al., 2004). در پژوهشی دیگر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم (۱ و ۲ گرم بر لیتر) روی درختان ده‌ساله زیتون ارقام دزفولی، میشن (Mission) و کرونیکی (Koroneiki) پاسخ‌های متفاوتی را باعث شد به‌طوری‌که، منجر به افزایش محتوی کلروفیل در هر سه رقم، افزایش پتاسیم برگ در دو رقم میشن و کرونیکی، افزایش کربوهیدارت محلول میوه و کاهش هدایت روزنه‌ایی در ارقام دزفولی و کرونیکی و همچنین افزایش آنتوسیانین میوه در رقم دزفولی گردید (Zivdar et al., 2016). محلول‌پاشی فرم‌های مختلف پتاسیم (KCl, KNO_3, K_2SO_4) در غلظت‌های ۱، ۲، و ۳ درصد وزنی/حجمی تاثیر معنی‌داری در وزن تازه و وزن خشک برگ و ریشه زیتون رقم کوندرولیا چالکیدیکیس (Chondrolia Chalkidikis) نداشت (Saykhul *et al.*, 2014).

سیلیس به‌عنوان یک عنصر مفید، اثرات مثبت متعددی بر گیاه می‌گذارد ازجمله بالا بردن مقاومت به انواع تنش‌ها، کاهش فرآیند تبخیر و تعرق و همچنین افزایش شاخص‌هایی از قبیل بهبود فرآیندهای فتوسنتزی و اندازه گیاه (Olyaie 2005; Fauteux *et al.*, Torshiz *et al.*, 2017). سیلیس هم به‌منظور بهبود عملکرد و هم بهبود ساختار گیاه برای حفاظت گیاه در برابر حمله آفات، بیماری‌ها و تنش‌های محیطی در انواع درختان میوه و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها به‌کارگرفته شده است (Patil *et al.*, 2017). تأثیرات مثبت این عنصر بر رشد رویشی ارقام زیتون آربکین (Arbequina) و پیکوال (Picual) نیز گزارش شده است (Nascimento-Silva et al., 2022). محلول‌پاشی سیلیس با غلظت ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث بهبود ویژگی‌های رویشی و افزایش تراکم و اندازه روزنه‌های برگ زیتون رقم آربکین گردید ولی در غیاب این عنصر هم رشد گیاه متوقف نگردید (Martos-García et al., 2024). همچنین کاربرد سیلیس در زیتون منجر به افزایش غلظت ترکیبات پلی فنول آن گردیده که در کنترل سلول‌های سرطانی مؤثرند (Paskov*ić et al.*, 2024).

در سال‌های اخیر، تغذیه عناصر مختلف به‌شکل نانوذرات در گیاهان مختلف از جمله زیتون موردتوجه محققین قرار گرفته و نتایج بیانگر تأثیرات مفید انواع مختلف این کودها بر صفات رویشی، زایشی، کیفیت روغن و مقاومت آن به تنش‌ها می‌باشد

(Rohi Vishekaii *et al.*, 2019b, 2019b, 2022; Zarei *et al.*, 2024; Gholami *et al.*, 2024). گزارشات بیانگر آن است که محلول‌پاشی کودهای نیتروژن به‌شکل نانو منجر به بهبود تشکیل میوه و درصد روغن در زیتون رقم زرد گردیده است (Rohi Vishekaii *et al.*, 2019a). به‌علاوه، محلول‌پاشی عنصر بور به‌صورت نانوکود تأثیرات مفیدی در رشد رویشی، میوه و همچنین روغن زیتون رقم زرد گذاشته، به‌طوری‌که باعث افزایش عملکرد روغن، میزان اسیدهای چرب، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوی فنول‌کل این رقم زیتون گردید (Rohi Vishekaii *et al.*, 2019b). تغذیه برگی نانوذرات پتاسیم و سیلیس منجر به بهبود کیفیت و افزایش محتوی اسیدهای چرب غیراشباع روغن زیتون گردیده است (Zarei *et al.*, 2024). محلول‌پاشی نانوذرات سیلیس در زیتون رقم Kalamata منجر به افزایش مقاومت گیاه، بهبود رشد و عملکرد آن و کاهش تأثیرات نامطلوب کاهش آبیاری زیتون گردید (Hassan *et al.*, 2022). نتایج حاصل از مقایسه محلول‌پاشی دو فرم پتاسیم، روی زیتون رقم زرد، نشان داد استفاده از نیترات پتاسیم منجر به عملکرد بیشتر میوه گردید، درحالی‌که صفات کیفی مربوط به روغن میوه با استفاده از محلول‌پاشی فرم نانوپتاسیم بهتر بود (Rohi Vishekaii *et al.*, 2022). همچنین اخیراً گزارش شده محلول‌پاشی با نانوذرات آهن باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی در زیتون رقم شنگه گردیده است (Gholami *et al.*, 2024).

استفاده از محلول‌پاشی به‌منظور رساندن مغذی‌ها به اندام‌های هدف در گیاهان روش مناسبی است زیرا از یک طرف، بازدهی مصرف مواد مغذی افزایش یافته و از طرف دیگر، باعث انباشت عناصر در خاک و از بین رفتن بافت خاک نمی‌گردد. بااین‌حال، به‌کاربردن کودها در مقیاس نانو موجب فعال‌سازی گیرنده‌های خاص در سلول‌های گیاهی می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیرات محلول پاشی نانو کودهای سیلیس و پتاسیم و همچنین برهم‌کنش بین آنها بر برخی ویژگی‌های رویشی گیاه و میوه زیتون رقم زرد می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

مواد گیاهی و تیمارها

این پژوهش در یک باغ تجاری واقع در شهرستان دره‌شهر از توابع استان ایلام انجام شد. دره‌شهر در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و در ارتفاع ۶۴۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. حداکثر درجه حرارت در این منطقه ۴۷ و حداقل آن ۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد و متوسط بارندگی منطقه ۲۷۵ میلی‌متر در سال اندازه‌گیری شده است.

محلول‌پاشی عناصر غذایی نانوکود (شرکت خضرا) نیترات پتاسیم ۲۷ درصد در سه غلظت ۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و نانوکود اکسید سیلیس (شرکت خضرا) دو درصد در سه غلظت ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر در دو مرحله بعد از گل‌دهی و زمانی که میوه‌ها به اندازه یک گرم بودند در ماه‌های اردیبهشت و تیر بر روی درختان زیتون شش‌ساله رقم زرد انجام گرفت. درختان زیتون رقم زرد با فاصله سه متر روی ردیف و چهار متر بین ردیف کشت شده بودند و با سیستم آبیاری قطره‌ای هر هفته یکبار آبیاری می‌شدند. نانوکود خضرا از شرکت تولیدی دانش‌بنیان صدور احرار شرق از اصفهان تهیه گردید. در زمان رسیدن میوه، تعداد ۵۰ میوه و برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و برای اندازه‌گیری صفات موردنظر به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ایلام منتقل شدند.

سنجش و اندازه‌گیری‌های صفات مورفولوژیک

جهت اندازه‌گیری وزن میوه از هر تیمار در هر تکرار ۵۰ عدد میوه به شکل تصادفی انتخاب و وزن تمام میوه‌های برداشت‌شده با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک‌صدم گرم به‌دست آمد و میانگین وزن حاصل به‌عنوان وزن میوه درنظرگرفته شد. همچنین وزن تر و خشک بخشی از میوه‌ها به‌منظور تعیین درصد رطوبت و ماده خشک میوه اندازه‌گیری گردید. طول میوه و قطر میوه (حداکثر قطر) با استفاده از کولیس با دقت یک‌صدم میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. ضخامت گوشت میوه، وزن گوشت میوه و وزن هسته برای هر گروه تیماری ثبت شد. همچنین طول و عرض ۵۰ برگ از هر درخت محاسبه و میانگین آنها برای یک برگ در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری عناصر سیلیس و پتاسیم

برای اندازه‌گیری پتاسیم و سیلیسیم موجود در برگ و گوشت میوه، نمونه برگ و گوشت تهیه و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. عصاره نمونه‌ها با استفاده از روش هضم خشک در حضور HCl تهیه شد. در نهایت، غلظت این عناصر با استفاده از دستگاه‌های جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. دو گرم از نمونه‌های برگ و یا گوشت میوه زیتون به صورت جداگانه به درون بوته‌های چینی منتقل گردید و به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند سپس نمونه خاکستر حاصل از هر نمونه به بشرهای ۵۰ میلی‌لیتری منتقل گردیدند و به هر کدام ۲۵ میلی‌لیتر محلول حاوی HF و HNO_3 به نسبت یک‌به‌سه اضافه شد و تا مرز خشک شدن جوشانده شدند و مجدداً به هر کدام ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه اضافه شد. بعد از سانتریفیوژ مخلوط حاصل، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول شفاف روشناور هر نمونه برداشته شد و جهت اندازه‌گیری یون‌های پتاسیم موجود در هر نمونه از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (FAAS) و برای اندازه‌گیری مقدار سیلیس موجود از دستگاه پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر پتاسیم طول موج نشری ۷۶۶/۵ nm و برای اندازه‌گیری مقدار سیلیس طول موج نشری ۶۱۱ nm–۲۵۱ استفاده گردید.

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱/۳) انجام شد و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون LSD و رسم نمودارها با استفاده از برنامه Excel صورت گرفت.

یافته‌های پژوهش

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بیشتر صفات مورد بررسی در میوه زیتون تحت‌تأثیر محلول پاشی پتاسیم و سیلیس قرار گرفتند. در بین تیمارهای آزمایش (سطوح مختلف سیلیس و پتاسیم)، بر پارامترهای عملکردی درختان زیتون (طول و عرض برگ، درصد رطوبت و درصد ماده خشک میوه، طول و قطر میوه، وزن میوه، وزن گوشت، نسبت گوشت به هسته) و همچنین محتوی سیلیس میوه، پتاسیم میوه، سیلیس برگ، و پتاسیم برگ از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری‌شده در تیمار محلول‌پاشی با سیلیس و پتاسیم روی زیتون رقم زرد

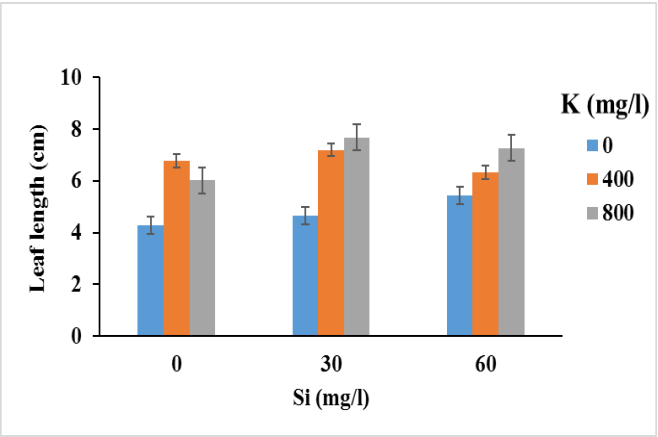
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		طول برگ	عرض برگ	درصد رطوبت میوه	درصد ماده خشک میوه	طول میوه	قطر میوه	وزن میوه	وزن گوشت میوه	وزن هسته میوه	نسبت گوشت به هسته
بلوک	۲	۰/۲۵۱**	۰/۰۴۱*	۳/۲۱*	۰/۰۳۸۵ns	۲۷۸۷ns	۱/۴۶ns	۰/۰۴**	۰/۰۰۶ns	۰/۰۱۵ns	۰/۱۱۴**
پتاسیم	۲	۰/۲۱**	** ۰/۰۹۶	۱۹۱/۶**	۱۹۱/۶۷ **	۱۸/۶۹ **	۱۸/۸ **	۰/۶۱**	۰/۶۷۹**	۰/۰۶۳ns	۱/۹۹ **
سیلیس	۲	۵/۵۵**	۰/۰۸۱**	۳/۲۱*	۳/۲۱۷ *	۴/۱۱**	۱۳/۷**	۰/۴۷۹**	۰/۳۸۹**	۰/۰۲۸ns	۰/۴۳ **
پتاسیم × سیلیس	۴	۰/۸۵۶**	۰/۰۴۲*	۳۹/۱۹**	۳۹/۱۹**	۱/۰۲*	۱/۸۸*	۰/۱۷**	۰/۱۴**	۰/۰۲۱ns	۰/۳۶۰*
خطای آزمایشی	۱۶	۰/۰۴۰	۰/۰۱۰	۱/۳۴۴	۱/۳۴۴	۰/۳۳۰	۰/۷۶۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۵۴
ضریب تغییرات(٪)	–	۳/۰۴۳	۶	۲/۹۱	۱/۹۲۴	۳/۰۴۱	۶/۳۳	۲/۳۰	۴/۰۸۶	۵/۲۳	۹/۶۴

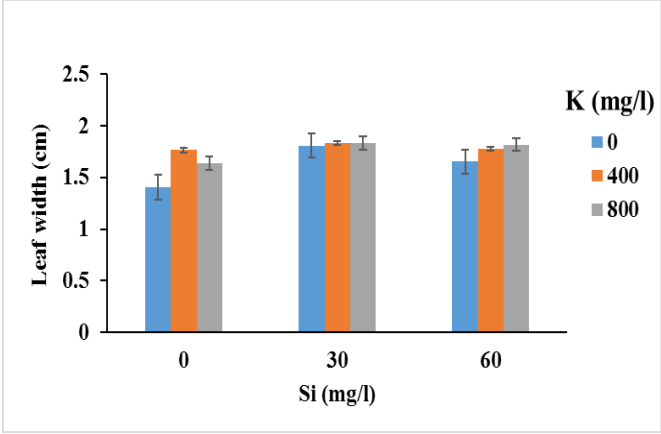
ns ، *، ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

بررسی تأثیرات دو عنصر پتاسیم و سیلیس روی ویژگی‌های برگ زیتون بیانگر تأثیر مثبت کاربرد این دو عنصر بر شاخصه-های رویشی گیاه زیتون است (شکل ۱). در این پژوهش محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم تأثیر به‌مراتب بیشتری نسبت به سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر آن بر صفات اندازه‌گیری شده داشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان طول برگ در تیمار دارای غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیس (۷/۶۸ سانتی‌متر) حاصل

گردید (شکل ۱a). استفاده هم‌زمان سیلیس و پتاسیم باعث افزایش طول برگ شد، به‌طوری‌که بیشترین طول برگ در تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیس حاصل گردید. بیشترین مقدار عرض برگ (۱/۸۳ سانتی‌متر) در تیمار هم‌زمان سیلیس ۳۰ میلی‌گرم در لیتر با هر یک از غلظت‌های ۸۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم حاصل گردید و کمترین مقدار عرض برگ (۱/۴۰ سانتی‌متر) مربوط به شاهد بود (شکل ۱b).

شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم و سیلیس بر طول (**a**) و عرض (**b**) برگ زیتون رقم زرد





ویژگی‌های مرتبط با میوه هم تحت‌تأثیر محلول‌پاشی با این دو عنصر قرار گرفت. محلول‌پاشی سیلیس و پتاسیم باعث افزایش وزن میوه گردید به‌طوری‌که بیشترین مقدار وزن میوه (۳/۳۰ گرم) در استفاده هم‌زمان از بالاترین سطوح پتاسیم (۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سیلیس (۶۰ میلی‌گرم در لیتر) ثبت شد. کمترین وزن میوه هم از نمونه‌های شاهد حاصل گردید، به‌طوری‌که متوسط وزن یک میوه در نمونه شاهد ۲/۱۸ گرم بود (شکل ۲a). نتایج مشابهی در مورد قسمت گوشتی میوه مشاهده گردید، بطوریکه بیشترین مقدار وزن گوشت میوه در سطوح پتاسیم ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سیلیس ۶۰ میلی‌گرم در لیتر با مقدار ۲/۵۰ گرم ثبت شد و کمترین مقدار آن مربوط به شاهد با مقدار ۱/۴۳ گرم بود (شکل ۲b).

کاربرد عناصر مغذی بر ابعاد میوه هم تأثیرگذار بود به‌طوری‌که بیشترین طول میوه (۲۰/۹۳ میلی‌متر) در غلظت پتاسیم ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سیلیس ۳۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با طول میوه‌های (۲۰/۵۵ میلی‌متر) حاصل از غلظت‌های پتاسیم ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سیلیس ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نداشت. همچنین کمترین مقدار طول میوه در نمونه شاهد (۱۶/۵۴ میلی‌متر) ثبت شد (شکل ۲c). محلول‌پاشی پتاسیم و سیلیس بر قطر میوه زیتون هم اثرگذار بود و بیشترین قطر میوه (۱۷/۷۸ میلی‌متر) در تیمار سیلیس ۶۰ میلی‌گرم در لیتر و پتاسیم ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد و کمترین مقدار آن مربوط به شاهد (۱۱/۸۱ میلی‌متر) بود (شکل ۲d). نتایج نشان داد عناصر سیلیس و یا پتاسیم به‌تنهایی یا به‌شکل ترکیبی باعث افزایش این شاخص شده است.

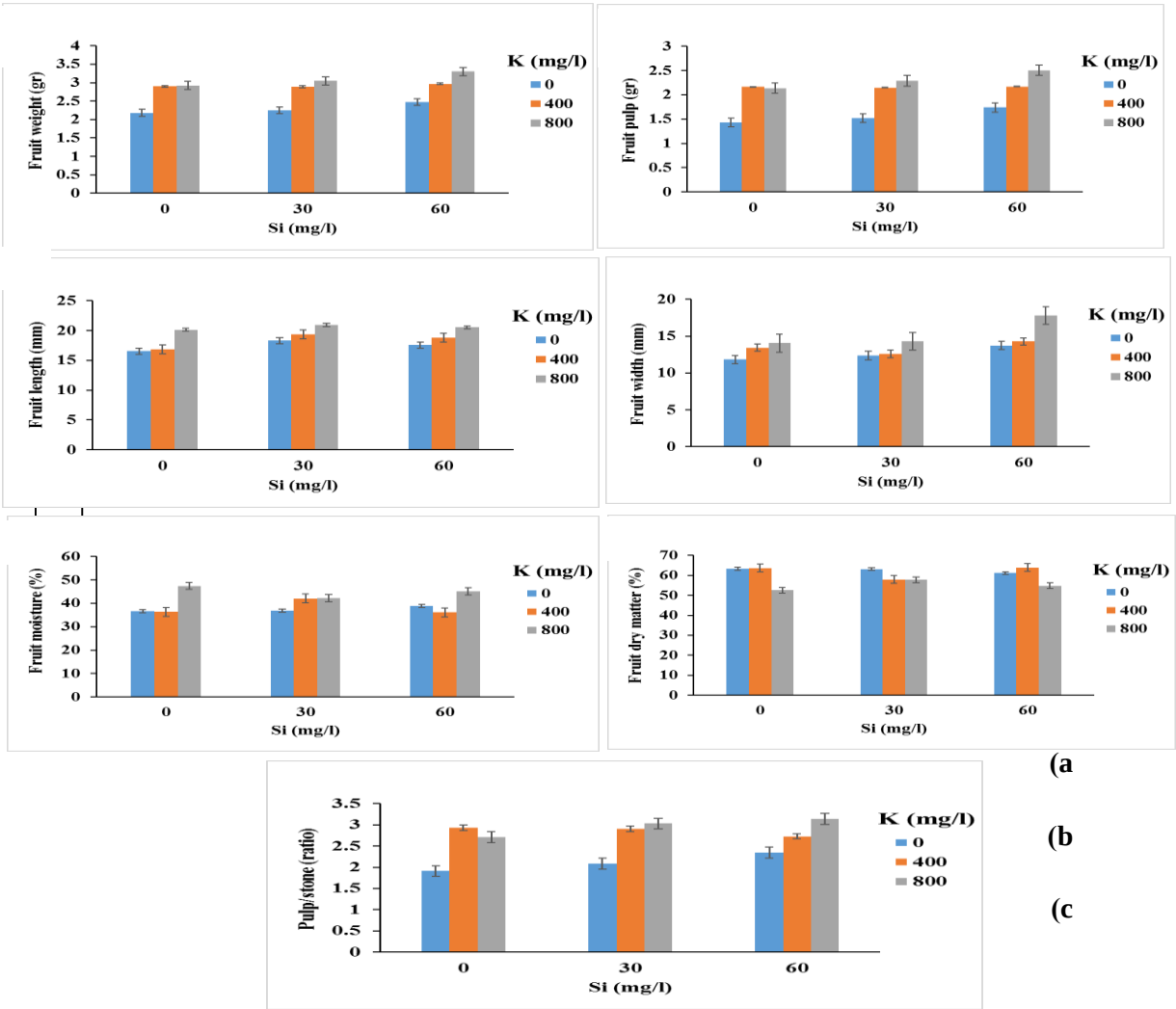
درصد رطوبت و درصد ماده خشک میوه هم تحت‌تأثیر محلول‌پاشی سیلیس و پتاسیم و اثرات متقابل بین آنها قرار گرفت (شکل ۲). بیشترین مقدار رطوبت میوه با مقدار ۴۷/۴۴ درصد در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم مشاهده گردید و کمترین مقدار هم مربوط به شاهد با مقدار ۳۶/۶۵ درصد بود (شکل ۲e). براساس نتایج بین رطوبت میوه در تیمار شاهد و تیمار تکی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و یا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲e). بیشترین میزان ماده خشک میوه در تیمار هم زمان پتاسیم ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر با سیلیس ۶۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل گردید درحالی‌که کاربرد پتاسیم به‌تنهایی در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به کاهش ماده خشک میوه گردید (شکل ۲f). کاربرد هر دو عنصر سیلیس و پتاسیم چه تکی و چه در ترکیب‌باهم منجر به افزایش قسمت گوشتی میوه نسبت به میوه‌های شاهد گردید و بیشترین

نسبت گوشت به هسته (۳/۱۳) در تیمار پتاسیم ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سیلیس ۶۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین نسبت آن در نمونه‌های شاهد (۱/۹۱) ثبت گردید (شکل 2g).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اندازه‌گیری عناصر سیلیس و پتاسیم در میوه و برگ زیتون رقم زر

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		سیلیس میوه	پتاسیم میوه	سیلیس برگ	پتاسیم برگ
بلوک	۲	۰/۰۰۰۰۲ *	۵۳۰۶/۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۶**	۴۷۹۵/۷**
پتاسیم	۲	۰/۰۰۰۵ **	۵۷۷۹۷۳/۳۸ **	۰/۰۰۰۰۶ **	۵۷۶۲۲۵/۸ **
سیلیس	۲	۰/۰۰۰۲**	۱۸۳۳۹۶/۱۹*	۰/۰۰۰۲۲ **	۱۶۰۲۶/۲**
پتاسیم × سیلیس	۴	۰/ ۰۰۰۰۸**	۵۵۸۸۲/۴۳**	۰/۰۰۰۰۱*	۴۰۰۶/۶۵**
خطای آزمایشی	۱۶	۰/۰۰۰۰۲	۴۰۴۱/۸۸	۰/۰۰۰۰۰۵	۴۱۹/۵
ضریب تغییرات(٪)		۱۶/۳۹۷	۲/۳۴	۸/۰۵۲	۲/۸۹

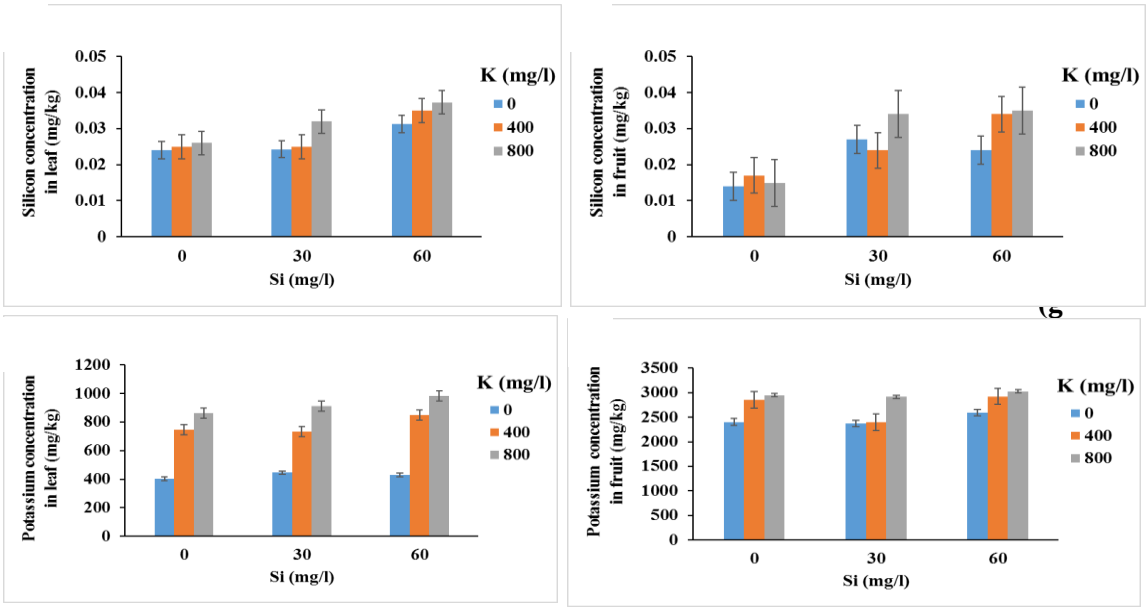
ns ، *، ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت‌های مختلف سیلیس و پتاسیم بر وزن میوه (**a**)، وزن قسمت گوشتی میوه (**b**)، طول میوه (**c**)، قطر میوه (**d**)، رطوبت میوه (**e**)، وزن خشک میوه (**f**)، و نسبت قسمت گوشتی میوه به هسته (**g**) زیتون رقم زرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد محلول‌پاشی پتاسیم و سیلیس و اثرات متقابل بین آنها بر غلظت سیلیس و پتاسیم در برگ و میوه زیتون رقم زرد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). نتایج نشان داد در نمونه‌هایی که با سیلیس محلول‌پاشی شدند غلظت این عنصر در برگ و میوه در مقایسه با نمونه شاهد بیشتر بود. همچنین اثرات پتاسیم در افزایش غلظت سیلیس برگ و میوه مثبت بود (شکل ۳).

براساس نتایج، با افزایش غلظت سیلیس، میزان آن در هر دو نمونه‌های میوه و برگ افزایش یافت ولی به‌طورکلی، برگ، سطوح بیشتری از سیلیس را در خود انباشته کرده بود (شکل ۳a و ۳b). همچنین مشاهده شد که کاربرد پتاسیم در کنار سیلیس منجر به افزایش جذب سیلیس گردید. کاربرد پتاسیم هم منجر به افزایش غلظت این عنصر در میوه و برگ زیتون شد و درختان تیمارشده با این عنصر در مقایسه با شاهد، غلظت بالاتری از پتاسیم را در برگ و میوه داشتند و بیشترین میزان پتاسیم هر دو اندام در بالاترین غلظت پتاسیم حاصل شد (شکل ۳c و ۳d). با این حال، کاربرد سیلیس باعث افزایش میزان پتاسیم در هر دو اندام، به‌خصوص در میوه زیتون گردید. همچنین غلظت پتاسیم در میوه بسیار بیشتر از برگ بود و این امر نشان می‌دهد بیشترین تجمع این عنصر در میوه زیتون است (شکل ۳c و ۳d).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی با سیلیس (**a** و **b**) و پتاسیم (**c** و **d**) بر غلظت این عناصر در برگ و میوه زیتون رقم زرد. میزان سیلیس در برگ (**a**) و میوه (**b**)، میزان پتاسیم در برگ (**c**) و میوه (**d**)

بحث

کاربرد بهینه عناصر غذایی و مواد مورد نیاز گیاه کارایی کود را افزایش داده و علاوه بر توسعه رشدونمو گیاه، سبب صرفه‌جویی و عدم‌آسیب به محیط‌زیست می‌گردد. نانوتکنولوژی ظرفیت بالایی در تهیه کودهایی با کارآیی بالاتر و صدمات زیست‌محیطی کمتر دارد که می‌تواند از منظر کشاورزی پایدار بسیار اهمیت داشته باشد (Seleiman *et al.*, 2021). نتایج این پژوهش نشان داد که فرم نانوکودهای پتاسیم و سیلیس تأثیرات مثبتی در هر دو بخش صفات رویشی و زایشی درخت زیتون ازجمله برگ و میوه داشت. برگ‌ها مهم‌ترین اندام برای جذب نور و فتوسنتز هستند و با افزایش سطح برگ، محصولات فتوسنتزی افزایش می‌یابد که بخشی از آن به‌مصرف میوه می‌رسد. نتایج این پژوهش مشابه با نتایج قبلی از کاربرد این عناصر در بهبود رشد گیاهان مختلف می‌باشد (Nascimento-Silva *et al.*, 2022; Haberman *et al.*, 2019; Larbi *et al.*, 2020 Patil *et al.*, 2017).

پتاسیم نقش‌های متعددی در گیاهان ایفا می‌کند که از مهم‌ترین آنها که می‌تواند بر رشد رویشی گیاه تأثیر گذارد، افزایش فتوسنتز، طولانی شدن عمر برگ‌ها، تأثیر بر آنزیم‌های مختلف ازجمله آنزیم‌های احیاءکننده گازکربنیک، تقسیم و رشد سلولی، بازوبسته شدن روزنه‌ها و انتقال مواد در آوندهای آبکش می‌باشند. در اصل، پتاسیم به‌شکل یونی در سلول‌های گیاهی وجود دارد و از طریق بازوبسته شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمز، حفظ تورژسانس سلولی و نگهداری درصد رطوبت برگ نقش‌های فیزیولوژیک مهمی در فتوسنتز و بزرگ شدن میوه دارد (Baghdady *et al.*, 2020). این عنصر شدت فتوسنتز کلروپلاست‌ها و سرعت انتقال مواد ساخته‌شده در برگ‌ها را از طریق آوند آبکش به بافت‌های ذخیره‌ای افزایش می‌دهد و به‌همین‌دلیل، عملکرد و کیفیت میوه را بهبود می‌بخشد (Larbi *et al.*, 2020; Restrepo-Diaz *et al.*, 2008). به‌علاوه، عنصر پتاسیم فعالیت بیش از ۱۲۰ آنزیم مختلف را که در فرایندهای مختلف رشدونمو گیاه از جمله متابولیسم نیتروژن، استفاده از انرژی، فتوسنتز و تنفس نقش دارند، تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Zarei *et al.*, 2024).

سیلیس هم به‌عنوان یک عنصر غیرضروری اما مفید، محرک رشد گیاه بسیار مطلوبی بوده و باعث افزایش رشد گیاه و تحریک بهره‌وری در گیاهان مختلف می‌شود. علاوه‌براین، کاربرد آن باعث افزایش زیست‌توده، ارتفاع و تعداد برگ و بهره‌وری گیاه در شرایط مختلف تنش می‌شود. میزان سیلیس در شاخه‌های درخت زیتون حدود ۰/۰۳۲٪ گزارش شده است (Hodson *et al.*, 2005). البته میزان سیلیس در زیتون براساس رقم، بافت گیاهی و میزان در دسترس بودن این عنصر می‌تواند متغیر باشد، به‌طوری‌که در زمان عدم‌مصرف کود سیلیس، در برگ‌ها، ساقه و ریشه‌های رقم آربکین به‌ترتیب ۲۶۰، ۷۰ و ۲۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و در رقم پیکوال ۲۱۰، ۵۰ و ۲۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است (Nascimento-Silva *et al.*, 2022). همچنین کاربرد سیلیس منجر به افزایش قابل‌توجه غلظت این عنصر در برگ‌های زیتون گردید به‌طوری‌که میزان سیلیس در برگ‌های رقم آربکین و پیکوال پس از محلول‌پاشی با سیلیس به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، به‌ترتیب به ۳۳۰ و ۴۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک افزایش یافت (Nascimento-Silva *et al.*, 2022). برخی آزمایشات مزرعه‌ایی نشان داده‌اند که کاربرد سیلیس تأثیرات مثبتی بر درختان میوه داشته است. کاربرد سیلیس در آب آبیاری هلو (۵۰ میلی‌لیتر سیلیس در ۱ لیتر آب) باعث بیشتر شدن ارتفاع درخت، سطح برگ، شاخه‌دهی جانبی و وزن خشک برگ نسبت به گیاهان شاهد گردیده است (Al-Hamadani and Joody, 2021). نتایج مشابهی در آووکادو حاصل شده و محلول-پاشی سیلیس باعث افزایش ارتفاع گیاه و وزن خشک ساقه گردیده ولی تأثیری در قطر ساقه و طول ریشه نداشته است (Gross-Urrego *et al.*, 2022). کاربرد سیلیس در پرتقال واشنگتن ناول هم باعث بهبود ارتفاع درخت و تعداد شاخه درخت شده است (Abo El-Enien *et al.*, 2017). همچنین کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افزایش تعداد شاخه، محتوی کلروفیل، عملکرد، اندازه میوه و عمر پس از برداشت گیاه چیکو (*Manilkara zapota*) گردید (Lalithya *et al.*, 2014).

یکی از نتایج قابل‌توجه این پژوهش تأثیرات مفیدتر کاربرد هم‌زمان سیلیس و پتاسیم بر ویژگی‌های رویشی و زایشی زیتون بود. مشابه با نتایج این تحقیق، اثرات هم‌افزایی سیلیس با بقیه عناصر مغذی از جمله پتاسیم در مطالعات مختلفی گزارش شده است (Pavlovic *et al.*, 2021; Yuan *et al.*, 2021; Kamruzzaman *et al.*, 2023). به‌عنوان نمونه، گزارش شده که سیلیس می‌تواند تمام جنبه‌های وابسته به تغذیه ازت، از جمله جذب آن توسط ریشه، تثبیت و انتقال مجدد آن (به‌خصوص به فرم اسیدآمینه) را در گیاه بهبود بخشد (Pavlovic *et al.*, 2021). علاوه‌بر کمک به جذب بیشتر فسفر در ریشه‌ها، سیلیس می‌تواند استفاده از فسفر موجود در گیاه را بهبود بخشد (Zhang et al., 2019). هر چند در مورد تأثیرات سیلیس بر پتاسیم، مطالعات کمتری نسبت به دو عنصر ازت و فسفر صورت گرفته است، ولی گزارشاتی وجود دارد که سیلیس توانسته تا حدودی کمبود پتاسیم را در گیاهان جبران کند و با تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانع از پراکسیده شدن لیپید غشاء شده و افزایش مقاومت گیاه را در شرایط کمبود پتاسیم همراه داشته است (dos Santos Sarah et al., 2019; Pavlovic *et al.*, 2021). افزون بر این، تیمار سیلیس در کنار پتاسیم اثرات هم‌افزایی بالایی نشان داد و منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه چچم (*Lolium perenne* L.) در شرایط معمول و افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش شوری گردید (Yuan *et al.*, 2021). نتایج مشابهی از اثرات هم‌افزایی بین سیلیس و پتاسیم در گیاهان دیگر هم گزارش شده که حاکی از آن است که استفاده هم زمان از این دو عنصر نسبت به کاربرد تکی هر کدام در بهبود ویژگی‌های گیاه مؤثرتر بوده است (Bybordi *et al.*, 2015). اخیراً

گزارش شده که در زیتون رقم آربکین هم محلول پاشی سیلیس منجر به افزایش جذب پتاسیم از خاک، تجمع آن و افزایش تحرک آن در گیاه گردیده است (Martos-García *et al.*, 2024). یکی دیگر از تأثیرات مفید سیلیس در بهبود عملکرد گیاه را می‌توان به نقش آن در کاهش تنش‌های مختلف نسبت داد: گزارشات متعددی وجود دارد که کاربرد سیلیس را موجب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیرزیستی دانسته‌اند (Olyaie Torshiz *et al.*, 2020; Yuan *et al.*, 2021). در اصل، استفاده هم‌زمان از این دو عنصر منجر به توزیع بهتر یون‌ها و تنظیم بهینه تخصیص آنها به بخش‌های مختلف گیاه، بهبود ساختار غشاء سلولی و دیواره سلول، بهبود فتوسنتز و پاسخ‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌گردد (Chen *et al.*, 2011; Guntzer *et al.* 2012; Yuan *et al.*, 2021). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد سیلیس با کاهش تنش‌ها و بهبود جذب و تحریک‌پذیری دیگر عناصر ضروری برای گیاه شرایط مناسب‌تری را برای رشد و نمو گیاه فراهم می‌کند.

بررسی عناصر پتاسیم و سیلیس در میوه و برگ زیتون هم مؤید اثرات هم‌افزایی این عناصر بود. به‌عبارتی، بیشترین میزان پتاسیم در برگ و میوه زیتون در تیمار ۶۰ پی‌پی‌ام سیلیس حاصل شد. این تأثیرات به‌خصوص در مورد میزان پتاسیم برگ مشهودتر بود. براساس این داده‌ها، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سیلیس باعث افزایش جذب پتاسیم در برگ شده و با نقش‌های متعددی که این عنصر در بهبود فتوسنتز و افزایش سطح برگ و جذب آب توسط آن و تورژسانس سلولی دارد، می‌تواند منجر به افزایش ماده‌سازی در برگ گردیده و در نهایت، عملکرد درخت را افزایش دهد. روند مشابهی هم در مورد محتوی سیلیس برگ و میوه مشاهده گردید که بیشترین سطح سیلیس در بالاترین سطح کاربرد پتاسیم رؤیت شد، که بیانگر برهم‌کنش مثبت پتاسیم با سیلیس در جذب این عنصر مفید می‌باشد. همچنین محتوی سیلیس برگ و میوه تفاوت خیلی زیادی نداشت، هرچند بیشترین سطح سیلیس در برگ تیمار شده با بالاترین غلظت آن حاصل گردید. به‌هرحال، محتوی پتاسیم برگ و میوه بسیار متفاوت بود، بطوریکه پتاسیم میوه افزایش حدود سه برابری نسبت به برگ زیتون نشان داد. مشابه با نتایج این پژوهش، میزان پتاسیم در میوه دیگر ارقام زیتون هم بیشتر از میزان این عنصر در برگ‌های گیاه گزارش شده است (Erel *et al.*, 2013; Haberman *et al.*, 2019). پتاسیم در افزایش فشار اسمزی، جذب آب بیشتر، متابولیسم کربوهیدرات و انتقال مواد در آوند آب‌کش نقش اساسی دارد؛ کمبود آن در گیاه موجب کاهش اندازه و وزن میوه می‌شود (Rawat *et al.*, 2022). پتاسیم به‌عنوان عنصری بسیار متحرک در آوند آب‌کش ارزیابی شده و می‌تواند از اندام‌هایی که میزان زیادی از آن را دارند به اندام‌های درحال‌رشد منتقل شود (Saykhul *et al.*, 2014). در اصل، میوه‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان پتاسیم مدّنظر می‌باشند و با جذب این عنصر در اندام‌ها، آب و دیگر مواد غذایی هم به‌سمت آنها هدایت شده و این فرآیند منجر به بزرگ‌تر شدن میوه و افزایش عملکرد درخت می‌گردد.

نتیجه‌گیری

استفاده از محلول پاشی نانوذرات به‌منظور رساندن مغذی‌ها به اندام‌های هدف در گیاهان، روشی سازگار با محیط‌زیست و پایدار می‌باشد، زیرا از یک طرف، راندمان مصرف عناصر مغذی افزایش یافته و از طرف دیگر، باعث انباشت عناصر در خاک و همچنین از بین رفتن بافت خاک نمی‌گردد. با این‌حال، به‌کاربردن کودها در مقیاس نانو موجب فعال‌سازی گیرنده‌های خاص در سلول‌های گیاهی می‌شود. همچنین، با توجه به مصرف کمتر در این سیستم، می‌توان با هزینه کمتری محصول را تولید کرد. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد هر دو عنصر عنصر نانوپتاسیم و نانوسیلیس بر صفات مورفولوژیک برگ و میوه موثر بوده و صفات ارزیابی‌شده در مقایسه با شاهد افزایش یافتند. به‌علاوه، با محلول‌پاشی این عناصر، مقدار آنها در برگ و میوه افزایش یافت. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، اثر مثبت عنصر پتاسیم نسبت به عنصر سیلیس بیشتر بوده ولی استفاده از سیلیس در کنار پتاسیم باعث بهبود جذب این عنصر در گیاه و حصول بهترین نتایج در این پژوهش گردید. این نتایج بیانگر تأثیرات هم‌افزایی این دو عنصر بوده و نشان داد که افزودن هم‌زمان کودهای نانوسیلیس و نانوپتاسیم نسبت به کاربرد تکی هر کدام مطلوب‌تر بوده و باعث بهبود ویژگی‌های میوه و عملکرد زیتون می‌گردد.

سپاسگزاری

هزینه‌های این پژوهش از اعتبارات پژوهشی دانشگاه ایلام تأمین شده است که نگارندگان بدین‌وسیله مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

REFERENCES

Abdollahi, F.; Erfani-Moghadam, J.; Zarei, A. & Rostaminia, M. (2024). Effect of foliar application of silica and calcium nitrate on cracking, quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science,* 55(1): 123-134. https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.362286.2116 *[in Persian]*

Abo El-Enien, M.M.S.; Abo El-Kassim, A.B.; El-Azaze, A.M. & El- Sayed, F.S. (2017). Effect of silicon, potassium and calcium compounds on growth and increase the efficiency of citrus seedlings to resist citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella*). *Journal of Productivity and Development*, 22(3): 729-749.

Al-Hamadani, Z.A.A. & Joody, A. (2021). Effect of sewage and silicon fertilization on the growth of peach trees. *Plant Archives*, 21: 13195-1398. https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.218

Babu, S.; Singh, R.; Yadav, D.; Rathore, S.S.; Raj, R.; Avasthe, R.; Yadav, S.K; Das, A.; Yadav, V.; Yadav, B.; Shekhawat, K.; Upadhyay, P.K.; Yadav, D,K. & Singh, V.K. (2022). Nanofertilizers for agricultural and environmental sustainability. *Chemosphere*, 292, 133451. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133451

Baghdady, G.A.; Abdrabboh, G.A. & Shahda, M.A. (2020) Effect of some preharvest treatments on yield and fruit quality of Crimson seedless grapvines. *Environmental Science*, 15: 1-14.

Ben Mimoun, M.; Loumi, O.; Ghrab, M.; Latiri, K. & Hellali, R. (2004). Foliar potassium application on olive tree. *IPI regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa; Rabat, Morocco*, 24-28 November.

Busso, M.A.; Suñer, L.G. & Rodríguez, R.A. (2022). Review of the effects of different fertilization sources on *Olea europaea* (Oleaceae). Impact on the yield and quality olives and oil. Considerations on environmental sustainability and soil use. *Lilloa*, 59 (2): 199-220. https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.2/2022.08.23

Bybordi A. (2015). Influence of exogenous application of silicon and potassium on physiological responses, yield, and yield components of salt-stressed wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46: 109-122.

Chen, W.; Yao, X.; Cai, K. & Chen, J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, 142: 67-76.

Debona, D.; Rodrigues, F.A. & Datnoff, L.E. (2017). Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. *Annual Review Phytopathology*, 4(55): 85-107. https://doir.org:10.1146/annurev-phyto-080516-035312

Santos Sarah (dos), M.M.; Mello Prado (de), R.; Teixeira G.C.M.; Souza Júnior (de), J.P.; Medeiros (de), R.L.S. & Barreto R.F. (2021). Silicon supplied via roots or leaves relieves potassium deficiency in maize plants. *Silicon.* https://doi.org/10.1007/s12633-020-00908-1

Erel, R; Kerem, Z.; Ben-Gal, A.; Dag, A.; Schwartz, A.; Zipori, I. & Yermiyahu, U. (2013). Olive (*Olea europaea* L.) tree nitrogen status is a key factor for olive oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(47): 11261-11272. https://doi.org/10.1021/jf4031585

Fageria, N.K.; Dos Santos, A.B. & De Moraes, M. F. (2010). Yield, potassium uptake, and use efficiency in upland rice genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(22): 2676-2684.

Fauteux, F.; Rémus-Borel, W.; Menzies, J. G. & Bélanger, R. R. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249(1): 1-6.

Gholami, R.; Fahadi Hoveizeh, N.; Zahedi, S.M.; Padervand, M.; Dawi, E.A. & Carillo, P. (2024) Nanostructure-assisted drought tolerance in olive trees (*Olea europaea* L.): the role of Fe2O 3-graphitic carbon. *Frontier in Plant Science*, 15: 1454619. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1454619

Gross-Urrego, J.A.; Camilo Chavez, C.; Pantoja-Benavides, A.D.; Arturo Moreno-Poveda, G.; Ramírez-Godoy, A. & Restrepo-Díaz, H. (2021). Silicon compounds promotes physiological response of avocado 'Hass' and affect the development of pests. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.3988096

Guntzer, F. ; Keller, C. & Meunier, J. D. (2012). Benefits of plant silicon for crops: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 201–213.

Haberman, A.; Dag, A.; Shtern, N.; Zipori, I.; Erel, R.; Ben-Gal, A. & Yermiyahu, U. (2019). Long-Term impact of potassium fertilization on soil and productivity in intensive olive cultivation. *Agronomy*. 9(9): 525. https://doi.org/10.3390/agronomy9090525

Hassan, I.F.; Ajaj, R.; Gaballah, M.S.; Ogbaga, C.C.; Kalaji, H.M.; Hatterman-Valenti, H.M. & Alam-Eldein, S.M. (2022). Foliar application of nano-silicon improves the physiological and biochemical characteristics of 'Kalamata' olive subjected to deficit irrigation in a semi-arid climate. *Plants*, 11: 1561. https://doi.org/10.3390/plants11121561

Hodson, M.J.; White, P.; Mead, A. & Broadley, M.R. (2005). Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of Botany*, 96(6): 1027–1046. https://doi.org/10.1093/aob/mci255

Kamalizadeh, M.; Bihamta, M. & Zarei, A. (2019). Drought stress and TiO_2 nanoparticles affect the composition of different active compounds in the *Moldavian dragonhead* plant. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41: 21. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2814-0

Kamruzzaman, M.; Akter, S.; Khan, M.Z. (2023). Synergistic effects of silicon and phosphorus co-application on rice (*Oryza sativa* L.) growth, yield and nutrient use efficiency in saline soil. *Silicon*, 15: 6485–6496. https://doi.org/10.1007/s12633-023-02509-0

Lalithya, K.A.; Bhagya, H. P.; Bharathi, K. & Choudhary, R. (2014). Response of silicon and micro nutrients on fruit character and nutrient content in leaf of sapota. *Bioscan*, 2(2): 593-598.

Larbi, A.; Kchaou, H.; Gaaliche, B.; Gargouri, K.; Boulal, H. & Morales, F. (2020). Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. *Scientia Horticulturae*, 260: 108912.

Martos-García, I.; Fernández-Escobar, R. & Benlloch-González, M. (2024). Silicon is a non-essential element but promotes growth in olive plants. *Scientia Horticulturae*, 323(1): 112541. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112541

Mengel, K. (2007). Potassium. In *Handbook of Plant Nutrition*, 1st ed.; Barker, A.V., Pilbeam, D.J., Eds.; 1CRC Taylor and Francis: New York, NY, USA, pp. 91–120.

Nascimento-Silva, K.; Benlloch-Gonzalez, M. & Fernandez-Escobar, R. (2022). Silicon nutrition in young olive plants: effect of dose, application method, and cultivar. *HortScience*. 57(12): 1534–1539. https://doi.org/10.21273/HORTSCI16750-22

Olyaie Torshiz, A.; Goldansaz, S.H.; Motesharezadeh, B.; Asgari-Sarcheshmeh, M. A. & Zarei, A. (2017). Effect of organic and biological fertilizers on pomegranate trees: yield, cracking, sun burning and infestation to pomegranate fruit moth *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal Crop Protection*, 6(3): 327–340.

Ol lyaie Torshiz, A.; Goldansaz, S.H.; Motesharezadeh, B.; Asgari-Sarcheshmeh, M. A. & Zarei, A. (2020). The influence of fertilization on pomegranate susceptibility to infestation by *Ectomyelois ceratoniae*. *International Journal of Fruit Science*, https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1778602

Pasković, I.; Franić, M.; Polić Pasković, M.; Talhaoui, N.; Marcelić, Š.; Lukić, I.; Fredotović, Ž.; Žurga, P.; Major, N.; Goreta Ban, S. (2024). Silicon foliar fertilisation ameliorates olive leaves polyphenolic compounds levels and elevates its potential towards different cancer cells. *Applied Sciences*. 14(11): 4669. https://doi.org/10.3390/app14114669

Patil, H.; Tank, R.V. & Manoli, P. (2017). Significance of silicon in fruit crops - a review. *Plant Archives*, 17(2): 769-774.

Pavlovic, J.; Kostic, L.; Bosnic, P.; Kirkby, E.A. & Nikolic, M. (2021). Interactions of Silicon with Essential and Beneficial Elements in Plants. *Frontier in Plant Science*, 23(12): 697592. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.697592

Rawat, J.; Pandey, N. & Saxena, J. (2022). Role of Potassium in Plant Photosynthesis, Transport, Growth and Yield. In: Iqbal, N., Umar, S. (eds) *Role of Potassium in Abiotic Stress*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4461-0_1

Razeghi-Jahromi, F.; Hosseini-Mazinani, M.; Razavi, K. & Zarei, A. (2021). Analysis of fatty acid compositions and differential gene expression in two Iranian olive cultivars during fruit

ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(43). https://doi.org/10.1007/s11738-021-03218-0

Razeghi-Jahromi, F.; Parvini, F.; Zarei, A. & Hosseini-Mazinani, M. (2022a). Sequence characterization and temporal expression analysis of different SADs and FAD2-2 genes in two Iranian olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 305: 111415. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111415

Razeghi-Jahromi, F.; Parvini, F.; Zarei, A. & Hosseini-Mazinani, M. (2022b). Change in oil composition and the major fatty acids and triacylglycerol biosynthesis genes in drupe of selected olive cultivars during growing season; a two years study. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 124(12): 17548012. https://doi.org/10.1002/ejlt.202200079

Restrepo-Diaz, H.; Benlloch, M. & Fernández-Escobar, R. (2008). Plant water stress and K^+ starvation reduce absorption of foliar applied K^+ by olive leaves. *Scientia Horticulturae*, 116(4): 409-413.

Rohi Vishekaii, Z.; Soleimani, A.; Fallahi, E.; Hasani, A. & Ghasemnezhad, M. (2022). Response of olive (*Olea europaea* L.) trees to foliar spray of nano chelated and chemical potassium fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 46(7): 1159–1171. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2072740

Rohi Vishekaii, Z.; Soleimani, A.; Ghasemnezhad, M. & Hasani, A. (2019a). The feasibility for replacement of urea with nitrogen nano-chelated fertilizer in olive (*Olea europaea* L.) orchards. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 10 (1): 3047-3058.

Rohi Vishekaii, Z.; Soleimani, A.; Ghasemnezhad, M. & Hasani, A. (2019b). The impact of foliar application of boron nano-chelated fertilizer and boric acid on fruit yield, oil content, and quality attributes in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horiculturae*, 257: 108689. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108689

Seleiman, M.F.; Almutairi, K.F.; Alotaibi, M.; Shami, A.; Alhammad, B.A. & Battaglia, M.L. (2021). Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? *Plants*, 10: 2. https://doi.org/10.3390/plants10010002

Shang, Y.; Hasan, M.K.; Ahammed, G.J.; Li, M.; Yin, H. & Zhou, J. (2019). Applications of Nanotechnology in Plant Growth and Crop Protection: A Review. Molecules. 13;24(14): 2558. https://doi.org/10.3390/molecules24142558

Singh, S.P. & Endley, N. (2020). Chapter 5 - Fabrication of nano-silica from agricultural residue and their application. In A. Husen & M. Jawaid (Eds.), *Nanomaterials for Agriculture and Forestry Applications*: 107-134.

Vishekaii, Z.R.; Soleimani, A.; Fallahi, E.; Ghasemnezhad, M. & Hasani, A. (2019). The impact of foliar application of boron nano-chelated fertilizer and boric acid on fruit yield, oil content, and quality attributes in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae*, 257: 108689.

Yuan, F.; Wu-yan, S.; Vanessa, P. & Fang-qin, C., (2021). Synergistic effect of Si and K in improving the growth, ion distribution and partitioning of *Lolium perenne* L. under saline-alkali stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(6): 1660–1673.

Zarei, A.; Abdollahi, F.; Erfani-Moghadam, J. & Rostaminia, M. (2024). Foliar Application of Silica and Potassium Sulphate on some Characteristics of Pomegranate Fruit cv. 'Malase-Saveh'. *Plant Production*, 47(2): 309-321. https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46385.2150

Zarei, A.; Erfani-Moghadam, J.; Hashemi, S. & Shirmardi, A. (2024). Effect of foliar application of silicon and potassium nanoparticles on the fatty acid composition of olive oil cv. Zard. *Seed and Plant*, 39: 597-619. https://doi.org/10.22092/spj.2024.366669.1375

Zhang, Y. ; Liang, Y.; Zhao, X.; Jin, X.; Hou, L. & Shi, Y. (2019). Silicon compensates phosphorus deficit-induced growth inhibition by improving photosynthetic capacity, antioxidant potential, and nutrient homeostasis in tomato. *Agronomy*, 9: 733. https://doi.org/10.3390/agronomy9110733

Zivdar, S.; Arzani, K.; Souri, M.K.; Moallemi, N. & Seyyednejad, S.M. (2016). Physiological and biochemical response of olive (*Olea europaea* l.) cultivars to foliar potassium application. *Journal of Agricultural Science Technology*, 18: 1897-1908.