

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

Abstract

Effects of foliar spraying of silica (Si) and potassium (K) nanoparticles were investigated on the leaf and fruit attributes of olive cultivar 'Zard'. K nanoparticles (0, 400, and 800 mg.l⁻¹) and Si nanoparticles (0, 30, and 60 mg.l⁻¹) were applied via spraying on olive tree cv. 'Zard' at two distinct points within the growing season: early May and early July. A factorial experiment based on the completely randomized block design with three replications was conducted. The leaf characteristics of tree and fruit fresh and dry weight, fruit pulp to stone ratio, fruit dimension, as well as K and Si content of fruit and leaf were measured. According to the results, the majority of the studied traits were significantly influenced by the foliar application of Si and K. The application of Si and K nanofertilizers enhanced the leaf area index, with the greatest leaf length observed in trees treated with of 400 mg.l⁻¹ K and 30 mg.l⁻¹ Si. Our findings demonstrated that both K and Si treatments improved fruit characteristics, however, the impact of k treatment was more prominent than that of Si. Among the treatments, the combined application of 800 mg.l⁻¹ K and 60 mg.l⁻¹ Si resulted in superior fruit characteristics. The content of Si and K in the leaves and fruits were substantially affected by foliar spraying. Altogether, the results of this investigation demonstrate that there are strong synergistic effects between Si and K. Consequently, the simultaneous application of these two elements is recommended for enhancing olive tree yield.

Keywords: Olive, Nanofertilizer, Foliar spraying, Synergistic effects, Fruit pulp

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

چکیده

اثرات محلول پاشی عناصر غذایی پتاسیم و سیلیس به شکل نانوذرات بر برخی ویژگی‌های رویشی درخت و صفات کمی و کیفی میوه زیتون رقم زرد بررسی شد. آزمایش به صورت 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 محلول پاشی 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 تحت تاثیر تیمارها قرار گرفته و در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند. کاربرد نانوکود پتاسیم و سیلیس باعث افزایش سطح برگ گردید، بطوریکه 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 مورفولوژیکی 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. بطور کلی نتایج این پژوهش بیانگر اثرات هم افزایی بین سیلیس و پتاسیم بود بطوریکه کاربرد هم زمان این دو عنصر باعث بهبود صفات مورد ارزیابی گردید.

کلمات کلیدی: زیتون، محلول پاشی، نانوذرات، اثرات هم افزایی، قسمت گوشتی میوه

مقدمه

زیتون (*Olea europaea* L.) یکی از قدیمی‌ترین درختان میوه می‌باشد که توسط بشر اهلی شده و مورد کشت و کار قرار گرفته است. این درخت میوه از مهم‌ترین محصولات باغی کشور می‌باشد که در سال‌های اخیر پرورش آن به دلیل ارزش غذایی بالای میوه و روغن آن و نیز تحمل نسبی درخت نسبت به شرایط نامساعد محیطی توسعه یافته است، بطوریکه 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). به دلیل ظرفیت بالای رشد زیتون در مناطق مختلف و سازگاری بالای آن به اقلیم‌های متنوع از جمله مناطق خشک و نیمه خشک، همچنین اهمیت اقتصادی بالای این محصول و ترکیبات زیست فعال آن به خصوص به دلیل ترکیبات روغن میوه و تقاضای بالا برای این محصول، اهمیت مطالعه و بررسی اثرات فاکتورهای مختلف روی افزایش محصول این گیاهی افزایش یافته است (Vishekaii et al., 2019).

تغذیه مناسب گیاه یکی از عوامل اصلی رشد درختان میوه می‌باشد که در عملکرد مناسب درخت و کیفیت میوه تاثیر بسیار زیادی دارد (Abdolahi et al., 2024). پتاسیم به عنوان یکی از عناصر درشت مغذی نقش تعیین کننده در رشد و نمو گیاهان مختلف دارد. گیاهان به پتاسیم زیادی نیاز دارند و از نظر میزان مصرف در بین عناصر معدنی، پتاسیم بعد از نیتروژن در ردیف دوم قرار دارد. این عنصر در خیلی از فرایندهای گیاهی بطور مستقیم نقش دارد، از جمله فتوسنتز، تنفس، سنتز پروتئین و فعال سازی 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). پتاسیم نقش قابل توجهی در تأمین رشد، کاهش اثرات سوء ناشی از تنش‌ها، افزایش عملکرد و بهبود کیفی محصول، از جمله طول دوره انبارداری، بازار پسندی و ارزش اقتصادی آن دارد (Larbi et al., 2020). این عنصر به صورت یک یون آزاد در فرایندهای فیزیولوژیکی 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 دارد. این عنصر شدت فتوسنتز و سرعت انتقال مواد ساخته شده در برگ‌ها را از طریق آوند آبکش به بافتهای ذخیره‌ای افزایش می‌دهد و به همین دلیل عملکرد و کیفیت میوه را بهبود می‌دهد (Larbi et al., 2020; Restrepo-Diaz et al., 2008). همچنین پتاسیم نقش مهمی در گلدهی درختان میوه دارد. اگرچه ممکن است میزان پتاسیم کل در خاک‌ها زیاد باشد، اما بخش

عمده‌ای از آن برای گیاهان غیر قابل جذب 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 بیش از حد کودهای شیمیایی، منابع خاکی و آبی جهان را تحت تاثیر قرار داده و منجر به بروز صدماتی به محیط زیست از جمله فرآیند مردابی شدن در اکوسیستم‌های آبی می‌شود. در این راستا استفاده از نانو کودها به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی موثر در دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد (Vishekaii et al., 2019). طی دهه گذشته استفاده تجاری و تحقیقاتی از نانوتکنولوژی در کشاورزی روز به روز در حال افزایش بوده است (Kamalizadeh et al., 2019). نانوذرات دارای عناصر مغذی پرمصرف و یا کم مصرف را کودهای نانو می‌نامند (Shang et al., 2019). کودهای نانو ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی دارند که آنها را نسبت به کودهای شیمیایی معمول (سنتی) برتر کرده است. ابعاد کوچک این کودها (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) باعث می‌شود که این کودها نسبت به انواع سنتی با کارایی بیشتری وارد سیستم‌های گیاهی گردند (Seleiman et al., 2021). بعلاوه 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). بعلاوه 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 محیط زیست دارند، بطوریکه نسبت به هم‌تاهای سنتی خود هدر رفت کمتری از طریق آبخوبی، بخار و گازی شکل دارند (Babu et al., 2022). رها شدن آهسته و تدریجی مواد مغذی از کودهای نانو، قدرت یونیزه شدن بالای آنها، پایداری شیمیایی بهتر، افزایش قدرت جذب، کشش سطحی بیشتر و افزایش پایداری پی‌اچ از جمله مزایای کودهای نانو در مقایسه با انواع سنتی می‌باشند (Seleiman et al., 2021).

سیلیس بعنوان یکی از عناصر غیر ضروری ولی مفید برای گیاهان مد نظر می‌باشد. به دلیل خواص فیزیولوژیکی مفید سیلیس در محصولات باغی، مصرف آن روز به روز در حال افزایش است (Olyaie Torshiz et al., 2020; Abdolahi et al., 2024). هر چند سیلیس بعنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان در نظر گرفته نمی‌شود، ولی همه گیاهان خاکری مقداری سیلیس در خود تجمع می‌کنند و بر این اساس به سه دسته گیاهان دارای سیلیس زیاد (بیش از ۱ درصد وزن خشک)، متوسط (بین ۰/۵-۱ 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 بطوریکه میزان این عنصر در برخی گیاهان علفی آبی (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 درشت مغذی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر کیفیت روغن زیتون رقم بارنیا (Barnea) کشت شده 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 تاثیر چندانی در کیفیت روغن نداشته و تاثیرات فسفر بر کیفیت روغن غیر مستقیم 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 پلی فنول‌های آن گردید، درحالی‌که تغییری در اسیده‌های 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 ۱۰ ساله زیتون ارقام دزفولی، میشن (Mission) و کرونیکی (Koroneiki) پاسخ‌های متفاوتی را باعث شد بطوریکه، منجر به افزایش محتوی کلروفیل در هر سه رقم، افزایش پتاسیم برگ در دو رقم میشن و کرونیکی، افزایش کربوهیدرات محلول میوه و کاهش هدایت روزنه‌ای 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 کوندروئال چالکیدیکس (Chondrolia Chalkidikis) نداشت (Saykhul et al., 2014).

سیلیس به عنوان یک عنصر مفید اثرات مثبت متعددی بر گیاه می‌گذارد از جمله، بالا بردن مقاومت گیاه به انواع تنش‌ها، کاهش دادن فرایند تبخیر و تعرق در گیاه و همچنین افزایش شاخص‌هایی از قبیل بهبود فرایندهای فتوسنتزی و اندازه گیاه (2005; Fauteux et al., Olyaie Torshiz et al., 2017). سیلیس به عنوان یک عنصر مفید، هم به منظور 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 بکار گرفته شده است (Patil et al., 2017). تاثیرات مثبت سیلیس بر رشد رویشی ارقام زیتون آربکینا (Arbequina) و پیکوال (Picual) هم گزارش شده است (Nascimento-Silva et al., 2022). محلول‌پاشی

سیلیس با غلظت ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر باعث بهبود ویژگی‌های رویشی و افزایش تراکم و اندازه روزنه‌های برگ زیتون رقم آربکینا 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 موثراند (Pasković et al., 2024).

در سالهای اخیر تغذیه عناصر مختلف به شکل نانوذرات در گیاهان مختلف از جمله زیتون مورد توجه محققین قرار گرفته و نتایج بیانگر تاثیرات 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 قبلی بیانگر این است که محلول پاشی کودهای نیتروژن به شکل نانو منجر به بهبود تشکیل میوه و درصد روغن در زیتون رقم زرد گردیده است (Rohi Vishekaii et al., 2019a). علاوه محلول پاشی عنصر بُر بصورت نانو کود تاثیرات مفیدی در رشد رویشی و میوه و روغن زیتون رقم زرد گذاشته، بطوریکه باعث افزایش عملکرد روغن، میزان اسیدهای چرب، فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوی فنول کل این رقم زیتون گردید (Rohi Vishekaii et al., 2019b). تغذیه برگی نانوذرات پتاسیم و سیلیس منجر به بهبود کیفیت و افزایش محتوی اسیدهای چرب غیر اشباع روغن زیتون گردیده است (Zarei et al., 2024). محلول پاشی نانوذرات سیلیس در زیتون رقم Kalamata منجر به افزایش مقاومت گیاه، بهبود رشد و عملکرد آن و کاهش تاثیرات نامطلوب کاهش آبیاری زیتون گردید (Hassan et al., 2022). نتایج حاصل از مقایسه محلول پاشی دو فرم پتاسیم، روی زیتون رقم زرد، نشان داد استفاده از نیترات پتاسیم منجر به عملکرد بیشتر میوه گردید، در حالیکه صفات کیفی مربوط به روغن میوه با استفاده از محلول پاشی فرم نانو پتاسیم بهتر بود (Rohi Vishekaii et al., 2022). همچنین اخیراً گزارش شده محلول پاشی با نانوذرات آهن باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی در زیتون رقم شنگه گردیده است (Gholami et al., 2024).

استفاده از محلول پاشی به منظور رساندن مغذی‌ها به اندام‌های هدف در گیاهان روش مناسبی است زیرا از یک طرف راندمان مصرف مواد مغذی افزایش یافته و از طرف دیگر باعث انباشت عناصر در خاک و همچنین از بین رفتن بافت خاک نمی‌گردد. با این حال به کار بردن کودها در مقیاس نانو موجب فعال‌سازی گیرنده‌های خاص در سلول‌های گیاهی می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تاثیرات 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 دره شهر از توابع استان ایلام انجام شد. دره شهر 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 سانتی گراد می باشد و متوسط بارندگی منطقه ۲۷۵ میلی متر در سال می باشد.

محلول پاشی عناصر غذایی نانو کود (شرکت خضرا) نیترات پتاسیم ۲۷ درصد در سه غلظت ۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر و نانو کود اکسید سیلیس (شرکت خضرا) دو درصد در سه غلظت ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر در دو مرحله بعد از گلدهی و زمانی که میوه ها به اندازه یک گرم بودند در ماه های اردیبهشت و تیر بر روی درختان زیتون شش ساله 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 قطره ای هر هفته یکبار آبیاری می شدند. نانو کود خضرا از شرکت تولیدی دانش بنیان صدور احرار شرق از اصفهان تهیه گردید. در زمان رسیدن میوه، تعداد ۵۰ میوه و برگ به صورت تصادفی انتخاب و برای اندازه گیری صفات مورد نظر به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ایلام منتقل شدند.

سنجش و اندازه گیری های صفات مورفولوژیکی

جهت اندازه گیری وزن میوه از هر تیمار در هر تکرار ۵۰ عدد میوه به شکل تصادفی انتخاب و وزن تمام میوه های برداشت شده با استفاده از ترازوی دقیق دیجیتال با دقت یک صدم گرم به دست آمد و میانگین وزن حاصل به عنوان وزن میوه در نظر گرفته شد. همچنین وزن تر و خشک بخشی از میوه ها به منظور تعیین درصد رطوبت و ماده خشک میوه اندازه گیری گردید. طول میوه و قطر میوه (ماکزیمم قطر) با استفاده از کولیس با دقت یک صدم میلی متر اندازه گیری 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.

اندازه گیری عناصر سیلیس و پتاسیم

برای اندازه گیری پتاسیم و سیلیسیم موجود در برگ و گوشت میوه، نمونه برگ و گوشت تهیه و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. عصاره نمونه ها با استفاده از روش هضم خشک در حضور HCl تهیه شد. در نهایت غلظت این عناصر با استفاده از دستگاه های جذب اتمی اندازه گیری گردید. دو گرم از نمونه های برگ و یا گوشت میوه زیتون به صورت جداگانه به درون بوتنه های چینی منتقل گردید و به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد سوزانده شدند سپس

نمونه خاکستر حاصل از هر نمونه به بشرهای ۵۰ میلی لیتری منتقل گردیدند و به هر کدام ۲۵ میلی لیتر محلول حاوی HF و HNO_3 به نسبت یک به سه اضافه شد و تا مرز خشک شدن جوشانده شدند و مجدداً به هر کدام ۲۵ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه اضافه شد. بعد از سانتریفیوژ مخلوط حاصل، ۱۰ میلی لیتر از محلول شفاف روشناور هر نمونه برداشته شد و جهت اندازه گیری یون های پتاسیم موجود در هر نمونه از دستگاه جذب اتمی شعله ای (FAAS) و برای اندازه گیری مقدار سیلیس موجود از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی (ICP) استفاده شد. به منظور اندازه گیری مقادیر پتاسیم طول موج نشری ۷۶۶/۵ nm و برای اندازه گیری مقدار سیلیس طول موج نشری ۶۱۱-۲۵۱ nm استفاده گردید.

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل داده ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱/۳) انجام شد و مقایسه میانگین ها به وسیله آزمون LSD و رسم نمودارها با استفاده از برنامه Excel صورت گرفت.

یافته های پژوهش

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بیشتر صفات مورد بررسی در میوه زیتون تحت تاثیر 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 معنی دار بود (جدول ۱).

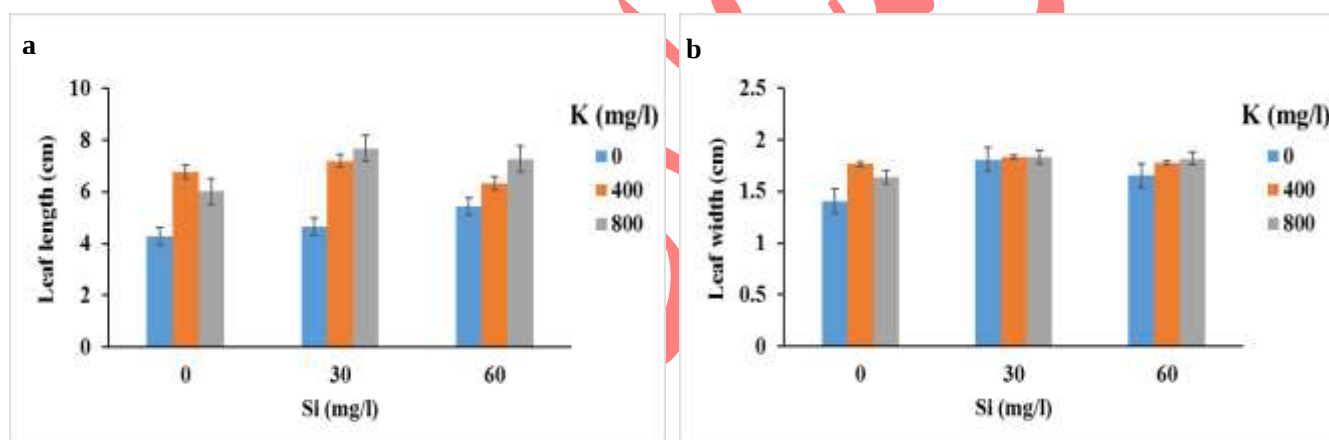
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری شده در تیمار محلول‌پاشی با سیلیس و پتاسیم روی زیتون رقم زرد.

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*	۰/۰۳۸۵ ^{ns}	۲۷۸۷ ^{ns}	۱/۴۶ ^{ns}	۰/۰۴**	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۱۱۴**
پتاسیم	۲	۰/۲۱**	۰/۰۹۶**	۱۹۱/۶**	۱۹۱/۶۷**	۱۸/۶۹**	۱۸/۸**	۰/۶۱**	۰/۶۷۹**	۰/۰۶۳ ^{ns}	۱/۹۹**
سیلیس	۲	۵/۵۵**	۰/۰۸۱**	۳/۲۱*	۳/۲۱۷*	۴/۱۱**	۱۳/۷**	۰/۴۷۹**	۰/۳۸۹**	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۴۳**
پتاسیم × سیلیس	۴	۰/۸۵۶**	۰/۰۴۲*	۳۹/۱۹**	۳۹/۱۹**	۱/۰۲*	۱/۸۸*	۰/۱۷**	۰/۱۴**	۰/۰۲۱ ^{ns}	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}، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

در دسترس نیست

بررسی تاثیرات دو عنصر پتاسیم و سیلیس روی ویژگی‌های برگ زیتون بیانگر تاثیر مثبت کاربرد این دو عنصر بر شاخصه‌های رویشی گیاه زیتون است (شکل ۱). در این پژوهش محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم تاثیر به مراتب بیشتری نسبت به سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر آن بر صفات مورد اندازه‌گیری 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، بطوریکه 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 تحت تاثیر محلول‌پاشی با این دو عنصر قرار گرفت. محلول‌پاشی سیلیس و پتاسیم باعث افزایش وزن میوه گردید بطوریکه 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، بطوریکه متوسط وزن یک میوه در نمونه شاهد ۲/۱۸ گرم بود (شکل ۲a). نتایج مشابهی در مورد قسمت گوشتی میوه مشاهده گردد، 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 شده است و کمترین مقدار آن مربوط به شاهد با مقدار ۱/۴۳ گرم بود (شکل ۲b).

کاربرد عناصر مغذی بر ابعاد میوه هم تاثیر گذار بود بطوریکه 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 اثر گذار 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 به تنهایی یا به شکل ترکیبی باعث افزایش این شاخص شده است.

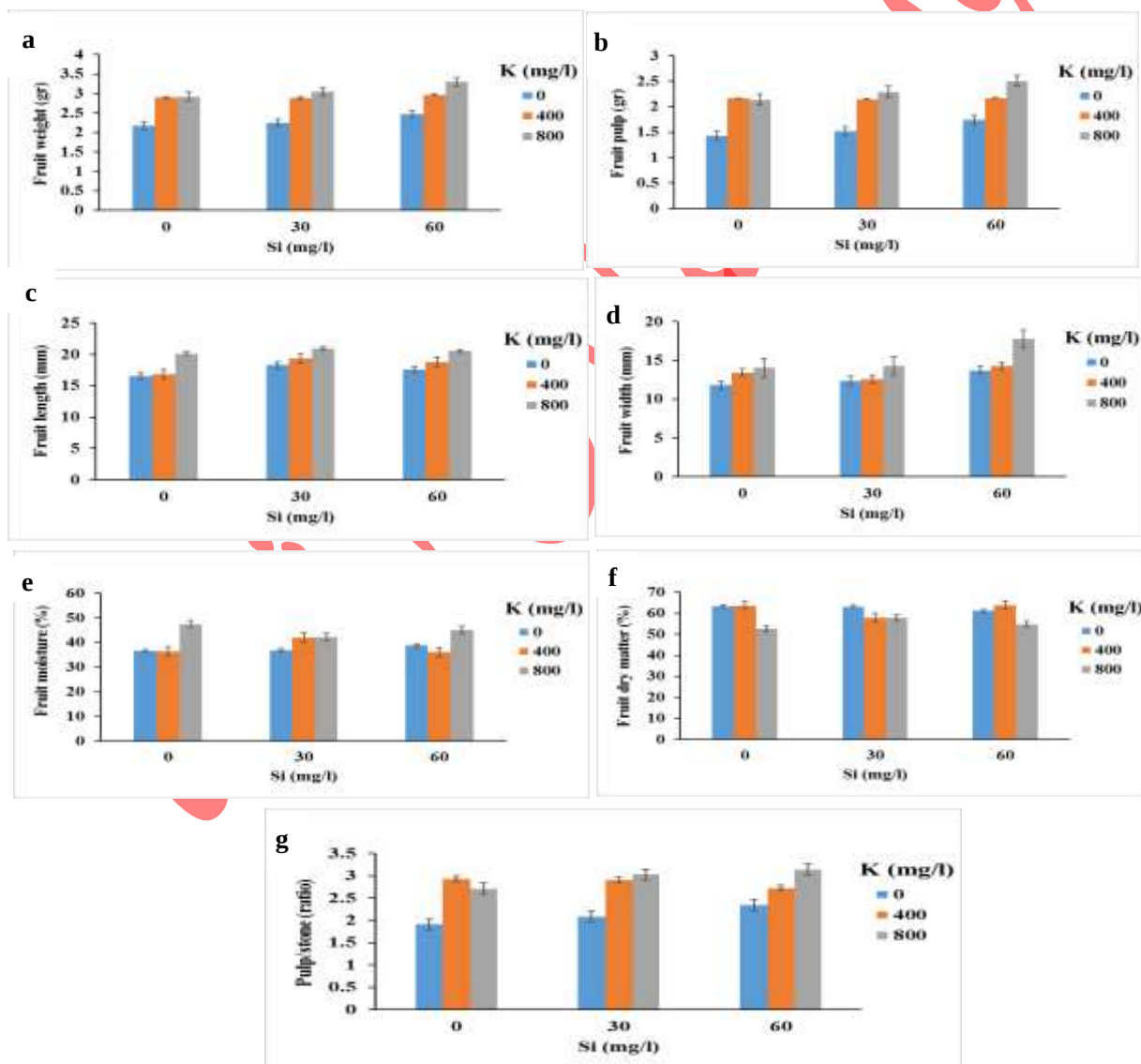
درصد رطوبت و درصد ماده خشک میوه هم تحت تاثیر محلول‌پاشی سیلیس و پتاسیم و اثرات متقابل بین آنها قرار گرفت (شکل ۲). بیشترین مقدار رطوبت میوه با مقدار ۴۷/۴۴ درصد در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم مشاهده گردید و کمترین مقدار هم مربوط به شاهد با مقدار ۳۶/۶۵ درصد بود (شکل ۲e). بر اساس نتایج بین رطوبت میوه 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 در حالیکه کاربرد پتاسیم به تنهایی 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 ترکیب با هم 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 ۲g).

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).

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

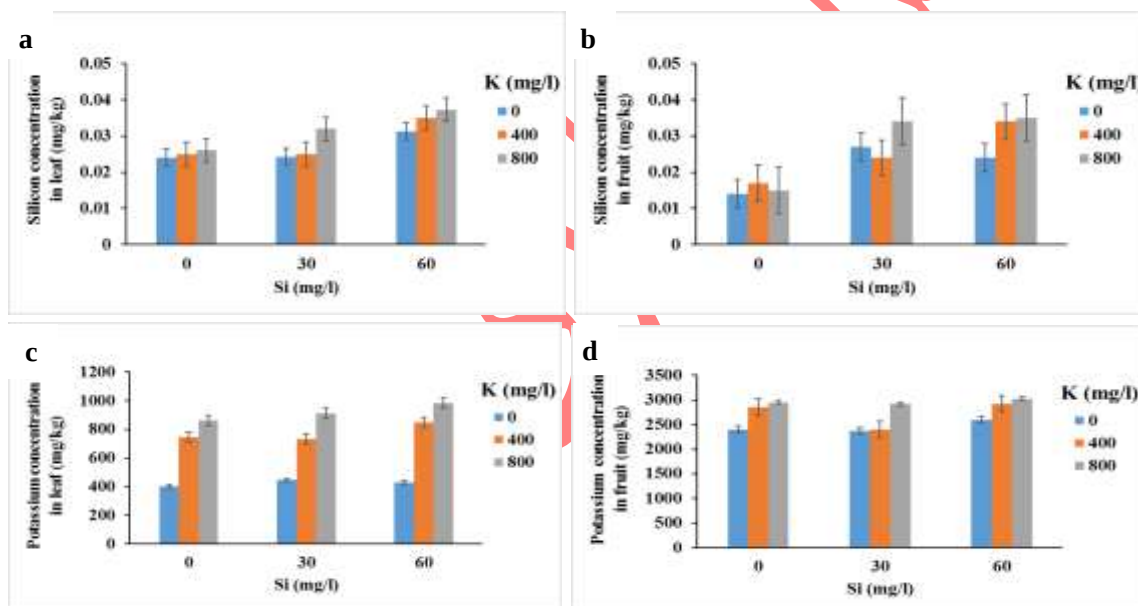
میانگین مربعات				درجه	منابع تغییرات
پتاسیم برگ	سیلیس برگ	پتاسیم میوه	سیلیس میوه	آزادی	
۴۷۹۵/۷**	۰/۰۰۰۰۶**	۵۳۰۶/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲*	۲	بلوک
۵۷۶۲۵/۸**	۰/۰۰۰۰۶**	۵۷۷۹۷۳/۳۸**	۰/۰۰۰۰۵**	۲	پتاسیم
۱۶۰۲۶/۲**	۰/۰۰۰۰۲۲**	۱۸۳۳۹۶/۱۹*	۰/۰۰۰۰۲**	۲	سیلیس
۴۰۰۶/۶۵**	۰/۰۰۰۰۱*	۵۵۸۸۲/۴۳**	۰/۰۰۰۰۸**	۴	پتاسیم × سیلیس
۴۱۹/۵	۰/۰۰۰۰۰۵	۴۰۴۱/۸۸	۰/۰۰۰۰۰۲	۱۶	خطای آزمایشی
۲/۸۹	۸/۰۵۲	۲/۳۴	۱۶/۳۹۷		ضریب تغییرات (%)

ns، *، ** به ترتیب 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.

بر اساس نتایج، با افزایش غلظت سیلیس، میزان آن در هر دو نمونه‌های میوه و برگ افزایش یافت ولی بطور کلی برگ سطوح بیشتری از سیلیس را در خود تجمع 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 تیمار شده 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، بخصوص 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 رشد و نمو گیاه سبب صرفه جویی و عدم آسیب به محیط زیست می‌گردد. نانوتکنولوژی پتانسیل بالایی در تهیه کودهایی با کارایی بالاتر و صدمات زیست محیطی کمتر دارد، که می‌تواند از منظر کشاورزی پایدار بسیار اهمیت داشته باشد (Seleiman et al., 2021). نتایج این پژوهش نشان داد که فرم نانو کودهای پتاسیم و سیلیس تاثیرات مثبتی در هر دو بخش صفات رویشی و زایشی درخت زیتون از جمله برگ و

میوه داشت. برگها مهم‌ترین اندام برای جذب نور و فتوسنتز هستند و با افزایش سطح برگ، محصولات فتوسنتزی افزایش می‌یابد که بخش از آن به مصرف 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 تاثیر گذارد، می‌توان به افزایش فتوسنتز، طولانی شدن عمر برگ‌ها، تاثیر بر آنزیم‌های مختلف از جمله آنزیم‌های احیا کننده گاز کربنیک، تقسیم و رشد سلولی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، و انتقال مواد در آوندهای آبکش اشاره نمود. در اصل پتاسیم به شکل یونی در سلول‌های گیاهی وجود دارد و از طریق باز و بسته شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمز، حفظ تورژسانس سلولی و نگهداری درصد رطوبت برگ نقش‌های فیزیولوژیکی مهمی در فتوسنتز و بزرگ شدن میوه نقش مهمی دارد (Baghdady et al., 2020). این عنصر شدت فتوسنتز کلروپلاست‌ها و سرعت انتقال مواد ساخته شده در برگ‌ها را از طریق آوند آبکش به بافت‌های ذخیره‌ای افزایش می‌دهد و به همین دلیل عملکرد و کیفیت میوه را بهبود می‌بخشد (Larbi et al., 2020; Restrepo-Diaz et al., 2008). بعلاوه عنصر پتاسیم فعالیت بیش از ۱۲۰ آنزیم مختلف که در فرایندهای مختلف رشد و نمو گیاه شامل متابولیسم نیتروژن، استفاده از انرژی، فتوسنتز و تنفس نقش دارند را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Zarei et al., 2024).

سیلیس هم به عنوان یک عنصر غیر ضروری اما مفید، محرک رشد گیاهان عالی بوده و باعث افزایش رشد گیاه و تحریک بهره‌وری در گیاهان مختلف می‌شود. علاوه بر این کاربرد آن باعث تقویت زیست توده، 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 بر اساس رقم، بافت گیاهی و میزان در دسترس بودن این عنصر می‌تواند متغیر باشد، بطوریکه در زمان عدم مصرف کود سیلیس، در برگ‌ها، ساقه، و ریشه‌های رقم آربکین به ترتیب ۲۶۰، ۷۰ و ۲۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک و در رقم پیکوال ۲۱۰، ۵۰ و ۲۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است (Nascimento-Silva et al., 2022). همچنین کاربرد سیلیس منجر به افزایش قابل توجه غلظت این عنصر در برگ‌های زیتون گردید بطوریکه میزان سیلیس در برگ‌های رقم آربکین و پیکوال پس از محلول‌پاشی با سیلیس به غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر، به ترتیب به ۳۳۰ و ۴۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک افزایش یافت (Nascimento-Silva et al., 2022). برخی آزمایشات مزرعه‌ای نشان داده‌اند که کاربرد سیلیس تاثیرات مثبتی در درختان میوه داشته است. کاربرد سیلیس در آب آبیاری هلو (۵۰ میلی لیتر 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 تاثیری در قطر ساقه و طول ریشه نداشته است (Gross-Urrego et al., 2022). کاربرد سیلیس در پرتقال و اشنگتن 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 قابل توجه این پژوهش تاثیرات 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). بعنوان 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 اسید آمینه) را در گیاه بهبود بخشد (Pavlovic et al., 2021). علاوه بر 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 تاثیرات 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 در گیاهان را جبران کند و با تنظیم آنزیم‌های آنتی اکسیدان مانع از پراکسیده شدن لیپید غشاء شده و افزایش مقاومت گیاه در شرایط کمبود پتاسیم را همراه داشته است (dos Santos Sarah et al., 2019; Pavlovic et al., 2021). همچنین تیمار سیلیس در کنار پتاسیم اثرات هم‌افزایی بالایی نشان دادند و منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه لولیم (*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 است بطوریکه استفاده هم‌زمان این دو عنصر نسبت به کاربرد تکی هر کدام در بهبود ویژگی‌های گیاه موثرتر بوده است (Bybordi et al., 2015). اخیراً گزارش شده که در زیتون رقم آربکینی 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 تاثیرات مفید سیلیس در بهبود عملکرد گیاه را می‌توان به نقش این عنصر در کاهش تنش‌های مختلف نسبت داد. گزارشات متعددی وجود دارد که کاربرد سیلیس باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیر زیستی گردیده است (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

فتوستنز و همچنین 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 موید اثرات هم افزایی این عناصر بود. به عبارتی بیشترین میزان پتاسیم در برگ و میوه زیتون در تیمار ۶۰ پی‌پی‌ام سیلیس حاصل شد. این تاثیرات بخصوص در مورد میزان پتاسیم برگ مشهودتر بود. بر اساس این داده‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سیلیس باعث افزایش جذب پتاسیم در برگ شده و با نقش‌های متعددی که این عنصر در بهبود فتوستنز و افزایش سطح برگ و جذب آب توسط آن و تورژسانس سلولی دارد می‌تواند منجر به افزایش ماده سازی در برگ گردیده و در نهایت عملکرد درخت را افزایش دهد. روند مشابهی هم در مورد محتوی سیلیس برگ و میوه مشاهده گردد، بطوریکه بیشترین سطح سیلیس در بالاترین سطح کاربرد پتاسیم مشاهده گردید 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 سیلیس حاصل گردید. به هر حال 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., 2019; Haberman et al., 2013). 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 به عنوان عنصری بسیار متحرک در آوند آبکش می‌باشد و می‌تواند از اندام‌هایی که میزان زیادی از آن را دارند به اندام‌های در حال رشد منتقل شود (Saykhul et al., 2014). در اصل میوه‌ها بعنوان یکی از مهمترین محل‌های مصرف کننده پتاسیم مد نظر می‌باشند و با جذب پتاسیم در این اندام‌ها آب و دیگر مواد غذایی هم به سمت آنها هدایت شده و این فرایند منجر به بزرگتر شدن میوه و افزایش عملکرد درخت می‌گردد.

نتیجه‌گیری

استفاده از محلول پاشی نانوذرات به منظور رساندن مغذی‌ها به اندام‌های هدف در گیاهان روشی سازگار با محیط زیست و پایدار می‌باشد زیرا از یک طرف راندمان مصرف مغذی افزایش یافته و از طرف دیگر باعث انباشت عناصر در خاک و همچنین از بین رفتن بافت خاک نمی‌گردد. با این حال به کار بردن کودها در مقیاس نانو موجب فعال سازی 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 نانو پتاسیم و نانو سیلیس بر روی صفات مورفولوژیک برگ و میوه موثر بود و صفات ارزیابی شده در مقایسه با شاهد افزایش یافتند. همچنین با محلول‌پاشی این عناصر، مقدار آنها در برگ و میوه افزایش یافت. بر اساس نتایج اثر مثبت عنصر پتاسیم نسبت به عنصر سیلیس بیشتر بود 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 تاثیرات هم‌افزایی این دو عنصر بر هم بوده و نشان داد افزودن هم‌زمان کودهای نانوسیلیس و نانوپتاسیم نسبت به کاربرد تکی هر کدام بهتر بوده و باعث بهبود ویژگی‌های میوه و عملکرد زیتون می‌گردد.

سپاسگزاری

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

منابع

- 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. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.362286.2116>
- 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. DOI: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, doi: <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 grapes. *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. doi: <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. doi: 10.1146/annurev-phyto-080516-035312. Epub 2017 May 15. PMID: 28504920.
- dos Santos Sarah, M.M., de Mello Prado, R., Teixeira G.C.M., de Souza Júnior J.P., de Medeiros R.L.S., & Barreto R.F. (2021). Silicon supplied via roots or leaves relieves potassium deficiency in maize plants. *Silicon*, 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. doi: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 Fe₂O₃-graphitic carbon. *Frontier in Plant Science*, 15:1454619. doi: 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*, Doi: 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., Bihanta, M., & Zarei, A. (2019). Drought stress and TiO₂ 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. *et al.* (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 (2023). <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. Doi: <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., Motesarezadeh, 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.
- Olyaie Torshiz, A., Goldansaz, S.H., Motesarezadeh, B., Askari, 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., Marčelić, Š., Lukić, I., Fredotović, Ž., Žurga, P., Major, N., Goreta Ban, S., *et al.* (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. doi: 10.3389/fpls.2021.697592. PMID: 34249069; PMCID: PMC8261142.
- 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; doi: 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111415>
- Razeghi-Jahromi, F., Zarei, A., Parvini, F., & 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, DOI: <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 Horticulturae*, 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. DOI: 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. doi: 10.3390/molecules24142558. PMID: 31337070; PMCID: PMC6680665.

- 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* (pp. 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. DOI: 10.22092/spj.2024.366669.1375
- Zhang, Y., Liang, Y., Zhao, X., Jin, X., Hou, L., Shi, Y., et al. (2019). Silicon compensates phosphorus deficit-induced growth inhibition by improving photosynthetic capacity, antioxidant potential, and nutrient homeostasis in tomato. *Agronomy*, 9, 733. 10.3390/agronomy9110733
- Zivdar, S., Arzani, K., Souiri, 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.

Extended abstract

Introduction

Olive (*Olea europea* L.), a member of the Oleaceae family, is among the oldest fruit crops that has been domesticated by humans. The olive tree has originated from Asia Minor and eastern Mediterranean, however; due to high adaptability to different climate conditions as well as high economic and health beneficial properties, the cultivation of this fruit tree extensively expanded beyond its natural habitats. The olive fruit is regarded as an important industrial crop worldwide and is cultivated on five continents.

Proper orchard management is one of the main factors that affect productivity of tree crops. Foliar fertilization during plant growth cycle is an efficient system for supplying nutrients to the olive tree, especially in dry conditions and limestone soils. Use of agrochemicals with the purpose of enhancing plant productivity has become an integral part of modern agricultural practices to keep pace with increasing world population and ever increasing demand for agricultural products. However, extensive use of synthetic fertilizers have exhausted

agricultural soils. Sustainability in agriculture is highly dependent on the methods that increase nutrient use efficiency to minimize the detrimental effects of agrochemicals to the soils. Use of nanoparticle-sized nutrients for improving plant performance can open an interesting path towards sustainable agriculture and minimizing detrimental effects of synthetic fertilizers. Owing to their small particle size (<100 nm), nanofertilizers have large surface areas and a characteristic of slow and steady release of nutrients and higher ability to enter plants when applied as foliar or soil amendments. Nanofertilizers can provide higher reactivity and availability to the plants leading to higher nutrient use efficiency compared with their large particle sized synthetic fertilizers.

Materials and methods

Effects of foliar spraying of silica (Si) and potassium (K) nanoparticles were investigated on the leaf and fruit attributes of olive cultivar 'Zard'. K nanoparticles (0, 400, and 800 mg.l⁻¹) and Si nanoparticles (0, 30, and 60 mg.l⁻¹) were sprayed on olive tree cv. 'Zard' twice during the growing season; at the beginning of May and July. A factorial experiment based on the completely randomized block design with three replications was conducted. The leaf characteristics of tree and fruit fresh and dry weight, fruit pulp to stone ratio, fruit dimension, as well as K and Si content in fruit and leaf were measured.

Results and discussion

According to results most of the studied traits were significantly affected by foliar spraying of Si and K. Application of Si and K nanofertilizers improved leaf area index and the highest leaf length was recorded at trees that have been treated with 400 mg.l⁻¹ K and 30 mg.l⁻¹ Si. Our results indicated that both K and Si treatments improved fruit characteristics, however, effects of K treatment were more prominent than Si. Among the treatments, the simultaneous application of 800 mg.l⁻¹ K and 60 mg.l⁻¹ Si gave rise to the better fruit characteristics. Application of Si and K either single or in combination improved the fleshy part of fruit and the highest ratio of pulp to stone (3.13) was recorded in 800 ppm K and 60 ppm Si while the lowest ratio (1.8) was detected in control. The highest fruit dry weight was obtained in the fruit treated with 400 ppm K and 60 ppm Si. The content of Si and K in the leaves and fruits were substantially increased by foliar spraying of these two nutrients. Although the Si content was not substantially different in the leaf and fruit of the olive, the K content was significantly higher in the olive fruit than its leaf. Based on the results of this investigation, Si spraying improved both vegetative and fruit characteristics of olive. In part, this is because of the positive effects of this element on the absorption of essential nutrients, however, the triggering effects of Si on physiological status of plant cells including antioxidant enzymes cannot be overlooked. Hence, foliar spraying of Si is suggested to be included in the olive fertilization programs for enhancing olive performance. Altogether, results of this investigation revealed that there are strong synergistic effects between Si and K, and simultaneous application of these two elements are suggested for improving olive tree yield.

Conclusion

Considering the need for innovative fertilizer methods that support productivity of fruit crops and be more environmentally friendly compared with synthetic chemical fertilizers, the effects of K and Si nanoparticles

were investigated on the vegetative and fruit attributes of olive cultivar 'Zard'. Potassium and silicon nanofertilizers supported higher yield in olive tree cultivar 'Zard'. The application of potassium and silicon nanofertilizers individually enhanced the characteristics of olive plants; however, the synergistic effects observed when these two elements were applied together were found to be more beneficial than their separate use, suggesting strong synergistic effects between these two nutrients. Our findings revealed that application of nutrients in the form of nanofertilizers can enhance olive productivity and optimize nutrient use efficiency. Furthermore, this approach may contribute to reducing the costs associated with agricultural products and minimizing fertilizer losses due to leaching and volatilization.

پژوهشهای کشاورزی