



## اثر محلول پاشی برگی نانوذرات سیلیسیم و پتاسیم بر ترکیب اسیدهای چرب روغن زیتون رقم زرد

## Effect of Foliar Application of Silicon and Potassium Nanoparticles on the Fatty Acid Composition of Olive Oil cv. Zard

عبدالکریم زارعی<sup>۱</sup>، جواد عرفانی مقدم<sup>۲\*</sup>، سمیه هاشمی<sup>۳</sup> و عباس شیرمردی<sup>۴</sup>

۱- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۴- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه مسجد سلیمان، مسجد سلیمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۸

## چکیده

زارعی، ع.، عرفانی مقدم، ج.، هاشمی، س. و شیرمردی، ع. ۱۴۰۲. اثر محلول پاشی برگی نانوذرات سیلیسیم و پتاسیم بر ترکیب اسیدهای چرب روغن زیتون رقم زرد. نهال و بذر ۳۹: ۶۱۹-۵۹۷

با توجه به تاثیر تغذیه بهینه و نوع کود استفاده شده بر کمیت و کیفیت اسیدهای چرب زیتون، در این پژوهش اثر محلول پاشی پتاسیم و سیلیسیم به شکل نانوذرات بر ترکیبات اسیدهای چرب روغن زیتون رقم زرد بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ طراحی و در دره شهر استان ایلام اجرا شد. نانوذرات پتاسیم در سه سطح (صفر، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانوذرات سیلیسیم نیز در سه سطح (صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) بصورت محلول پاشی استفاده گردید. نتایج محلول پاشی با این ترکیبات اثر معنی‌داری بر ترکیب روغن زیتون داشت و میزان اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع در تیمارهای آزمایشی افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان اسیدهای چرب اشباع (۱۹/۲۴ درصد) و اسید پالمیتیک (۱۵/۴۷ درصد) در تیمار ترکیبی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم به دست آمد. در حالیکه اسید آراشیدیک (۰/۹۴ درصد) در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم و اسید استئاریک (۳/۳۷ درصد) در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم بیشترین میزان را داشتند. حداکثر اسیدهای چرب چند غیر اشباعی اسید لینولنیک (۱/۲۴ درصد) و لینولنیک (۱۲/۱۲ درصد) در تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم حاصل شد. تیمارهای غیر ترکیبی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم و یا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم منجر به تشکیل حداکثر اسید اولئیک، پالمیتونیک، اسیدهای چرب غیر اشباع و اسیدهای چرب تک غیر اشباعی شدند. بر اساس نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت متوسط پتاسیم برای بهبود اسیدهای چرب اشباع و غلظت بالاتر آن برای اسیدهای چرب غیر اشباع مناسب‌تر باشد. همچنین محلول پاشی هر کدام از عناصر مغذی نانو پتاسیم و نانو سیلیسیم برای بهبود اسیدهای چرب تک غیر اشباعی مفید بوده و استفاده توأم از این دو نانو ذره برای بهبود اسیدهای چرب چند غیر اشباعی و اسیدهای چرب اشباع مناسب‌تر باشد.

واژه‌های کلیدی: زیتون، نانو کود، محلول پاشی، ترکیب روغن، اسید چرب غیر اشباع.

تلفن: ۰۸۴۳۲۲۲۷۰۱۵

\* نگارنده مسئول: j.erfani@ilam.ac.ir



2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

## مقدمه

درجات بعدی قرار دارند. ترکیبات روغن زیتون بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف بسیار متغیر است و نسبت اسید اولئیک به اسید لینولئیک یکی از مهمترین شاخص‌های تعیین کننده کیفیت روغن زیتون می‌باشد (Razeghi-Jahromi *et al.*, 2022b).

مدیریت بهینه باغ که شامل عملیات مختلفی می‌شود در تولید کمی و کیفیت محصول بسیار تاثیرگذار است. کیفیت روغن زیتون، بخصوص میزان و ترکیب اسیدچرب آزاد و همچنین ترکیبات پلی فنولیک آن بسیار وابسته به عملیات داشت باغ از قبیل آبیاری (Ben-Gal *et al.*, 2011)، شدت نور (Rousseaux *et al.*, 2020)، زمان برداشت (Dag *et al.*, 2011; Razeghi-Jahromi *et al.*, 2022a)، و تغذیه (Busso *et al.*, 2009; Razeghi-Jahromi *et al.*, 2022; Zipori *et al.*, 2023) است. یکی از مهمترین عملیات مدیریت باغی، فراهم نمودن مواد مغذی مناسب برای افزایش عملکرد گیاه می‌باشد. کوددهی مناسب با روش‌های مختلف و انواع متفاوت کود همیشه بعنوان یکی از مهمترین عملیات به باغی موثر در مرحله داشت گیاهان مد نظر بوده است. محلول‌پاشی برگ‌گی به عنوان روشی مکمل کوددهی از طریق ریشه به طور گسترده در مراحل مختلف رشد محصولات گیاهی استفاده می‌شود. سازکار جذب برگ‌گی پیچیده بوده و عوامل مختلفی از جمله سطح برگ و ساختار آن که تحت تاثیر گونه گیاهی، مرحله رشدی گیاه و عوامل محیطی در زمان

زیتون (*Olea europaea* L.) یکی از مهمترین درختان میوه ای است که از دیرباز توسط بشر کشت و کار می‌شود. همچنین بخاطر وجود ترکیبات زیست فعال متعدد و محتوی روغن با کیفیت، میوه زیتون ارزش اقتصادی و تجاری بالایی دارد. روغن زیتون به عنوان یکی از با کیفیت‌ترین روغن‌های گیاهی، جایگاه ویژه‌ای در رژیم‌های غذایی مفید برای کاهش بیماری‌های قلبی عروقی، کاهش فشار خون و پیشگیری و درمان با برخی از سرطان‌ها دارد (Teres *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2022; Zipori *et al.*, 2023).

امروزه روغن زیتون به علت کیفیت بالای آن سهم مهمی در بازار بین المللی روغن‌ها دارا می‌باشد. ترکیبات متعادل اسیدهای چرب و انواع ترکیبات زیست فعال از قبیل پلی فنول‌ها در روغن، باعث شده که زیتون بعنوان یکی از منحصر به فردترین میوه‌های تولید کننده روغن خوراکی مد نظر قرار گیرد (Sanchez and Hardwood, 2002). بین ۳۰-۲۰ درصد وزن میوه زیتون را روغن تشکیل می‌دهد و اسید اولئیک (C18:1) بعنوان مهمترین اسید چرب تک اشباعی حدود ۸۳-۵۵ درصد روغن میوه زیتون را تشکیل می‌دهند و بعد از آن به ترتیب اسید چرب اشباع پالمیتیک (C16:0) با ۲۰-۷/۵ درصد، اسید چرب چندغیراشباعی لینولئیک (C18:2) با ۲۱-۳/۵ درصد و آلفا لینولئیک (C18:3) با حدود یک درصد در

از انواع کودهای شیمیایی متداول می باشد  
(Babu et al., 2022).

عنصر پتاسیم (K) یکی از عناصر پر مصرف  
ضروری برای رشد گیاهان می باشد و نقش های  
متعددی در گیاهان ایفا می کند که از جمله  
آنها می توان به فعال کردن برخی آنزیم ها، بهبود  
کارایی فتوسنتز، تنظیم فشار تورژسانس، تنظیم  
اسمزی، باز و بسته شدن روزنه ها و  
بهبود کمی و کیفیت میوه اشاره نمود  
(Mengel, 2007; Abdollahi et al., 2024).

عنصر پتاسیم نه تنها در بهبود کارایی فتوسنتز  
نقش مهمی دارد بلکه باعث سرعت انتقال مواد  
ساخته شده در فرایند فتوسنتز از برگها به  
محل های مصرف، از قبیل میوه های در  
حال رشد، را افزایش داده و بنابراین نقش  
مهمی در بهبود کمیت و کیفیت میوه دارد  
(Larbi et al., 2020; Restrepo-Diaz et al.,  
2008).

نتایج مطالعات قبلی بیانگر تاثیر بسیار زیاد  
عنصر پتاسیم بر عملکرد زیتون بوده و مشخص  
شده است که علاوه بر نقش های مرتبط با رشد  
و فیزیولوژی گیاه از قبیل حفظ فشار تورژسانس،  
عنصر پتاسیم نقش مهمی در  
فعال کردن آنزیم ها و تولید آمینواسیدها و  
ترکیبات فنولی در درختان زیتون دارد و  
کمبود این عنصر مغذی باعث کاهش گلدهی  
و تولید میوه می شود و در نهایت منجر به  
کاهش عملکرد میوه گیاه می گردد  
(Haberman et al., 2019). همچنین مشخص

محلول پاشی است، بسیار تاثیر گذار در این  
فرایند می باشد (Bahamonde et al., 2023).

محلول های غذایی که روی گیاهان پاشیده  
می شوند ممکن است از طریق کوتیکول و  
زائده های کوتیکول، منافذ روزنه ها، کرک،  
رگبرگ و دیگر ساختارهای اپیدرمی جذب  
شوند (Fernández et al., 2021). استفاده از  
کودهای نانو برای بهبود کارایی جذب و انتقال  
مواد غذایی، راهی برای بهبود عملکرد گیاه  
است. کودهای نانو با توجه به ابعاد کوچک تر  
خود، قابلیت جذب بیشتر از طریق محلول پاشی  
برگی گیاه داشته و همچنین سرعت انتقال  
بیشتری در بخش های مختلف گیاه دارا  
می باشند. علاوه بر این، این کودها بصورت  
تدریجی و آهسته آزاد شده و قدرت یونیزه  
شدن بالایی دارند (Seleiman et al., 2021).  
به خاطر داشتن ویژگی های مذکور، این قبیل  
کودها را می توان در غلظت های بسیار کمتر  
نسبت به انواع کودهای شیمیایی متداول استفاده  
کرد (در بعضی موارد کمتر از ۱۰ تا ۱۵ برابر  
میزان استفاده شده کودهای متداول).

بنابراین جایگزین کردن کودهای متداول با  
انواع کود های نانو می تواند هزینه تولید محصول  
را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. علاوه  
براین، این کودها در مقایسه با انواع کودهای  
متداول به محیط زیست آسیب کمتری می  
رسانند، چون باقیمانده کمتری از آنها در طبیعت  
به جا مانده و آلودگی ناشی از آبشویی و تصعید  
آنها در نظام های طبیعی بسیار کمتر

زیتون بیانگر اثر مثبت غلظت ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر این عنصر بر خصوصیات رویشی درخت و بزرگتر شدن اندازه روزه‌های برگ و افزایش تراکم آنها در زیتون رقم آربکین بود (Martos-García *et al.*, 2024). تاثیر مثبت

کوددهی با سیلیسیم بر ترکیبات میوه زیتون هم گزارش شده است، به طوریکه کاربرد این عنصر باعث بهبود محتوی ترکیبات پلی فنولی میوه شد (Pasković *et al.*, 2024).

گزارش‌هایی هم از تاثیر عنصر سیلیسیم بر محتوی اسیدهای چرب دیگر گیاهان روغنی موجود است (Manaf *et al.*, 2020; Jamshidi *et al.*, 2023). Jam *et al.*, 2023. محلول پاشی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) با سیلیسیم منجر به افزایش عملکرد دانه، محتوی روغن و عملکرد آن، میزان اسید لینولئیک و اسید پالمیتیک گردید، اما میزان اسید استئاریک و اسید اولئیک را کاهش داد و با افزایش اسید لینولئیک و کاهش اسید استئاریک محتوی روغن و کیفیت آن افزایش یافت (Jamshidi *et al.*, 2023). کاربرد سیلیسیم در شرایط نیمه خشک روی گیاه کنجد هم منجر به بهبود عملکرد روغن و افزایش درصد اسیدهای چرب غیر اشباع اسید اولئیک و اسید لینولئیک و کاهش اسیدهای چرب اشباع اسید پالمیتیک و اسید استئاریک شد (Manaf *et al.*, 2020).

هدف از این پژوهش بررسی اثر کاربرد محلول پاشی نانوکودهای سیلیسیم و پتاسیم بر محتوی روغن و ترکیبات اسیدهای چرب روغن

شده است که برداشت سالانه میوه زیتون منجر به برداشت میزان بالایی از پتاسیم قابل دسترس گیاه از خاک می‌گردد، بنابراین درخت زیتون برای حفظ عملکرد پایدار نیاز بالایی به کود پتاسیم دارد (Busso *et al.*, 2022).

سیلیسیم (Si) یکی از عناصر کم مصرف برای گیاهان در نظر گرفته می‌شود، با این حال اثر مثبت این عنصر بر بهبود عملکرد خیلی از گیاهان از جمله زیتون گزارش شده است (Olyaie Torshiz *et al.*, 2017; 2020; Nascimento- Nascimento-Silva *et al.*, 2022; Abdollahi *et al.*, 2024; Pasković *et al.*, 2024). از نقش‌های مفید سیلیسیوم می‌توان به بهبود ساختار گیاه و افزایش مقاومت گیاه به شرایط نامساعد محیطی، حفاظت گیاه در برابر آفات، بهبود ویژگی‌های رویشی گیاه و تاثیر بر ترکیبات مفید گیاه اشاره نمود (Patil *et al.*, 2017; Pasković *et al.*, 2024; Fauteux *et al.*, 2005).

کاربرد غلظت‌های مختلف عنصر سیلیسیم (۰ تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر) به صورت محلول پاشی یا استفاده در آب آبیاری منجر به تجمع این عنصر در اندامهای ریشه، برگ و ساقه ارقام زیتون پیکوال و آربکین شد و بهترین غلظت سیلیسیم برای تجمع این عنصر در بخش‌های رویشی گیاه زیتون برای هر دو رقم مورد مطالعه ۲۰ میلی گرم بر لیتر گزارش شده است (Nascimento-Silva *et al.*, 2022). نتایج پژوهشی دیگر از کاربرد سیلیسیم روی

زیتون رقم زرد بود.

اسیدهای چرب به آزمایشگاه دانشگاه خوارزمی ارسال شد.

## مواد و روش‌ها

درختان زیتون شش ساله رقم زرد موجود در یک باغ تجاری در استان ایلام، شهرستان دره شهر مورد آزمایش قرار گرفتند. شهرستان دره شهر با مختصات جغرافیایی  $33^{\circ} 08' 53''$  درجه شمالی و  $47^{\circ} 22' 61''$  درجه شرقی با ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. اقلیم منطقه نیمه گرمسیری بوده و متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۵ میلی متر در سال می باشد. بر طبق اطلاعات هواشناسی، دمای حداقل و حداکثر سالیانه در سردترین و گرمترین ماه سال به ترتیب ۲- و ۴۷ درجه سانتی گراد می باشد. درختان زیتون مورد آزمایش با فاصله  $4 \times 5$  متر کشت شده بودند و آبیاری آنها با استفاده از سیستم قطره‌ای و هر هفته یک مرتبه انجام می شد. محلول پاشی عناصر غذایی نانو کود نترات پتاسیم ۲۷ درصد در سه غلظت ۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر و نانو کود اکسید سیلیسیوم دو درصد در سه سطح ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر در دو مرحله بعد از گلدهی و زمانی که میوه‌ها به اندازه یک گرم بودند در ماه‌های اردیبهشت و تیر ۱۴۰۰ انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. در زمان رسیدن تعداد ۵۰ عدد میوه رسیده به صورت تصادفی از قسمت‌های مختلف درخت انتخاب و جهت انجام آزمایشات پروفایل

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SAS (نسخه 9.4) استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) مقایسه شدند.

## تعیین اسیدهای چرب

برای جداسازی چربی از گوشت میوه زیتون، به محلول مخلوطی از محلول دی اتیل اتر (۲:۱) و اتر نفت اضافه و مخلوط گردید، این فاز به آرامی جدا شده و حلال‌های فوق در دستگاه روتاری تبخیر شدند. در مرحله بعد برای استر کردن اسیدهای چرب ابتدا به آن KOH (2M) الکلی اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری ۶۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند و به آن حجم مساوی آب خالص اضافه گردید و با اسیدسولفوریک اسیدی گردید. اسیدهای چرب با اضافه کردن دی اتیل اتر جدا و بوسیله اضافه نمودن تری فلورو متانول ۱۴ درصد بصورت متیله در آمدند و با قیف جداکننده پس از اضافه نمودن مجدد دی اتیل اتر جدا شدند. بخش جدا شده با آب شستشو شد و رطوبت آن با تبخیر آب حذف گردید (Gonzales et al., 2003).

## ارزیابی با گاز کروماتوگرافی

یک میکرولیتر از نمونه استخراجی به ستون کروماتوگرافی به طول ۱۰۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر از نوع (Chrompack و CP-Sil 88 ساخت Midleburg-Netherlands)

متصل به دستگاه گاز کروماتوگرافی Hewlet-Packard-5890A0 تزریق شد. آشکار ساز از نوع Flame Ionization مدل (Loor-2001) بود. گاز حامل از نوع هیدروژن فوق خالص با فشار ۲۳ پی اس آی (Pound per square inch = PSI) بود. درجه حرارت تزریق کننده ۵۰ درجه سانتی گراد و حرارت اولیه اون متعادل ۷۰ درجه سانتی گراد بود که با شیب ۵ درجه سانتی گراد در هر دقیقه افزایش و نهایتاً به ۱۰۰ درجه سانتی گراد می‌رسید، سپس بعد از دو دقیقه حرارت به ۲۲۵ درجه سانتی گراد رسیده و ثابت می‌ماند. پیک‌های خروجی براساس مقایسه زمان بازداری یا پیک‌های استاندارد تعیین هویت و سطح زیر منحنی هر اسید چرب معیار تعیین آن بود (Gonzales et al., 2003).

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر عناصر سیلیسیم و پتاسیم و اثر متقابل بین آنها بر ترکیبات اسیدهای چرب روغن زیتون معنی‌دار بود (جدول ۱). میزان کل اسیدهای چرب اشباع روغن زیتون تحت تاثیر تیمار سیلیسیم و پتاسیم قرار گرفت، به طوریکه کمترین میزان اسیدهای چرب اشباع (۱۳/۹۱ درصد) در تیمار شاهد و بیشترین میزان آن (۱۹/۲۴ درصد) در تیمار ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیم ثبت شد (جدول ۲). بیشترین مقدار

اسید آراشیدیک در تیمار همزمان سیلیسیم ۳۰ میلی گرم بر لیتر و پتاسیم ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر با میزان ۰/۹۴ درصد و کمترین میزان در شاهد با مقدار ۰/۵۵ درصد ثبت گردید (جدول ۲). تیمار ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم به همراه ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیم هم باعث افزایش قابل توجه (به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۶ درصد) محتوی اسید آراشیدیک روغن زیتون گردید.

دیگر اسید چرب اشباع روغن زیتون، استئاریک اسید، هم تحت تاثیر محلول پاشی سیلیسیم و پتاسیم قرار گرفت و تفاوت معنی‌دار بین تیمارها و شاهد وجود داشت. به طور کلی هر چند تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیم و یا سطوح ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم برای این اسید پرب اشباع شده وجود نداشت، ولی بیشترین (۳/۳۷ درصد) و کمترین (۱/۷۶ درصد) میزان این اسید چرب به ترتیب در تیمار ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و شاهد ثبت شد (جدول ۲). روند مشابهی در مورد اسید پالمیتیک مشاهده گردید و تیمار سیلیسیم و پتاسیم باعث بهبود میزان این اسید چرب اشباع در روغن زیتون شدند (جدول ۲). بیشترین میزان اسید پالمیتیک (۱۵/۴۷ درصد) در تیمار همزمان پتاسیم ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر و سیلیسیم ۶۰ میلی گرم بر لیتر حاصل شد و کمترین میزان آن (۱۱/۶۰ درصد) در میوه‌های شاهد وجود داشت (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس برای اثر محلول پاشی برگ‌گی نانوذرات پتاسیم و سیلیسیم بر ترکیبات اسیدهای چرب زیتون رقم زرد

Table 1. Analysis of variance for potassium and silicon nanoparticles foliar application on the fatty acid compositions of olive oil cv. Zard

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	اسید آراشیدیک Arashidic acid	اسید لینولنیک Linolenic acid	اسید لینولئیک Linoleic acid	اسید اولئیک Oleic acid	اسید استئاریک Stearic acid	اسید پالمیتولئیک Palmitoleic acid	اسید پالمیتیک Palmitic acid
Block	بلوک	2	0.006	0.014	0.016	3.27	0.38**	0.830**	1.22*
Potassium (P)	پتاسیم	2	0.070**	0.480**	2.910**	117.30**	1.72**	9.720**	12.47**
Silicon (S)	سیلیسیم	2	0.120**	0.060**	1.020	41.65**	0.41**	0.280**	2.62**
P × S	پتاسیم × سیلیسیم	4	0.020**	0.050**	2.650**	2.47	0.89**	0.190**	1.97**
Error	خطای آزمایشی	16	0.003	0.007	0.370	3.80	0.03	0.018	0.21
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	8.61	8.96	5.56	2.99	7.26	5.77	3.46

\*\* : Significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively.

\*\* : معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

Table 1- Continued

ادامه جدول ۱-

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	نسبت اسید اولئیک:		نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع:		نسبت اسیدهای چرب اشباع:		
			اسیدهای چرب اشباع (SFA <sup>1</sup> )	اسیدهای چرب غیر اشباع (USFA <sup>2</sup> )	نسبت اسید لینولئیک Oleic acid: Linoleic acid ratio	نسبت اسیدهای چرب تک غیر اشباع تک غیر اشباعی (MUFA <sup>3</sup> )	نسبت اسیدهای چرب چند غیر اشباعی چند غیر اشباعی (PUFA <sup>4</sup> )	نسبت اسیدهای چرب چند غیر اشباع MUFA: PUFA ratio	نسبت اسیدهای چرب اشباع USFA: SFA ratio
Block	بلوک	2	2.81**	5.66	0.09	5.750	0.10	0.080	0.190
Potassium (P)	پتاسیم	2	19.03**	253.00**	0.07	187.000**	5.06**	0.040	0.260*
Silicon (S)	سیلیسیم	2	5.29**	54.40**	0.06	39.200**	1.37*	0.023	0.130
P × S	پتاسیم × سیلیسیم	4	4.89**	4.51	0.84**	3.460	2.32**	0.620*	0.330**
Error	خطای آزمایشی	16	0.33	4.02	0.17	4.007	0.35	0.130	0.067
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	3.39	2.52	7.01	2.96	4.96	6.45	5.49

\* and \*\*: Significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively.

\* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

<sup>1</sup>SFA: Saturated fatty acids; <sup>2</sup>USFA: Unsaturated fatty acids; <sup>3</sup>MUFA: Monounsaturated fatty acids, <sup>4</sup>PUFA: Polyunsaturated fatty acids.

جدول ۲- مقایسه میانگین برای اثر متقابل محلول پاشی با نانوذرات پتاسیم × سیلیسیم بر میزان اسیدهای چرب روغن زیتون رقم زرد

Table 2. Mean comparison for foliar application with potassium × silicon nanoparticles interaction effect on the fatty acids content in olive oil cv. Zard

پتاسیم (میلی گرم در لیتر)	سیلیسیم (میلی گرم در لیتر)	اسید اولئیک (%)	اسید آراشیدیک (%)	اسید لینولیک (%)	اسید لینولیک (%)	اسید استئاریک (%)	اسید پالمیتولئیک (%)	اسید پالمیتیک (%)	اسیدهای چرب اشباع (%)	نسبت اسید اولئیک: اسید لینولیک	اسید چرب چندغیراشباعی (%)	نسبت اسیدهای چرب تک غیراشباع: اسید چرب چند غیر اشباع	نسبت اسیدهای چرب غیراشباع: اسید های چرب اشباع
Potassium (mg l <sup>-1</sup> )	Silicon (mg l <sup>-1</sup> )	Oleic acid (%)	Arashidic acid (%)	Linolenic acid (%)	Linoleic acid (%)	Stearic acid (%)	Palmitoleic acid (%)	Palmitic acid (%)	Saturated fatty acids (%)	Oleic acid/linoleic acid ratio	Polyunsaturated fatty acids (%)	Monounsaturated: polyunsaturated fatty acids ratio	Unsaturated: saturated fatty acids ratio
0	0	57.97	0.55	0.76	9.92	1.76	1.62	11.60	13.91	5.85	10.68	5.58	5.09
	30	62.62	0.61	0.76	9.72	1.79	1.45	13.13	15.53	6.46	10.47	6.13	4.80
	60	62.8	0.73	0.84	11.48	3.14	1.53	14.27	18.13	5.47	12.32	5.23	4.23
400	0	64.39	0.56	0.67	11.39	3.37	2.17	12.85	16.78	5.66	12.06	5.53	4.69
	30	65.59	0.94	0.84	12.08	2.84	1.48	12.49	16.27	5.43	12.92	5.19	4.92
	60	67.36	0.77	1.12	10.50	2.80	2.35	12.49	16.06	6.44	11.62	6.01	5.07
800	0	65.47	0.68	1.24	10.65	3.10	3.61	14.66	18.43	6.16	11.88	5.82	4.40
	30	69.38	0.88	1.24	12.12	2.91	3.51	14.32	18.11	5.74	13.36	5.46	4.77
	60	69.87	0.86	1.20	11.40	2.90	3.44	15.47	19.24	6.17	12.61	5.85	4.47
LSD (5%)	-	2.11	0.06	0.08	0.61	0.19	0.13	0.46	0.57	0.41	0.59	0.36	0.25

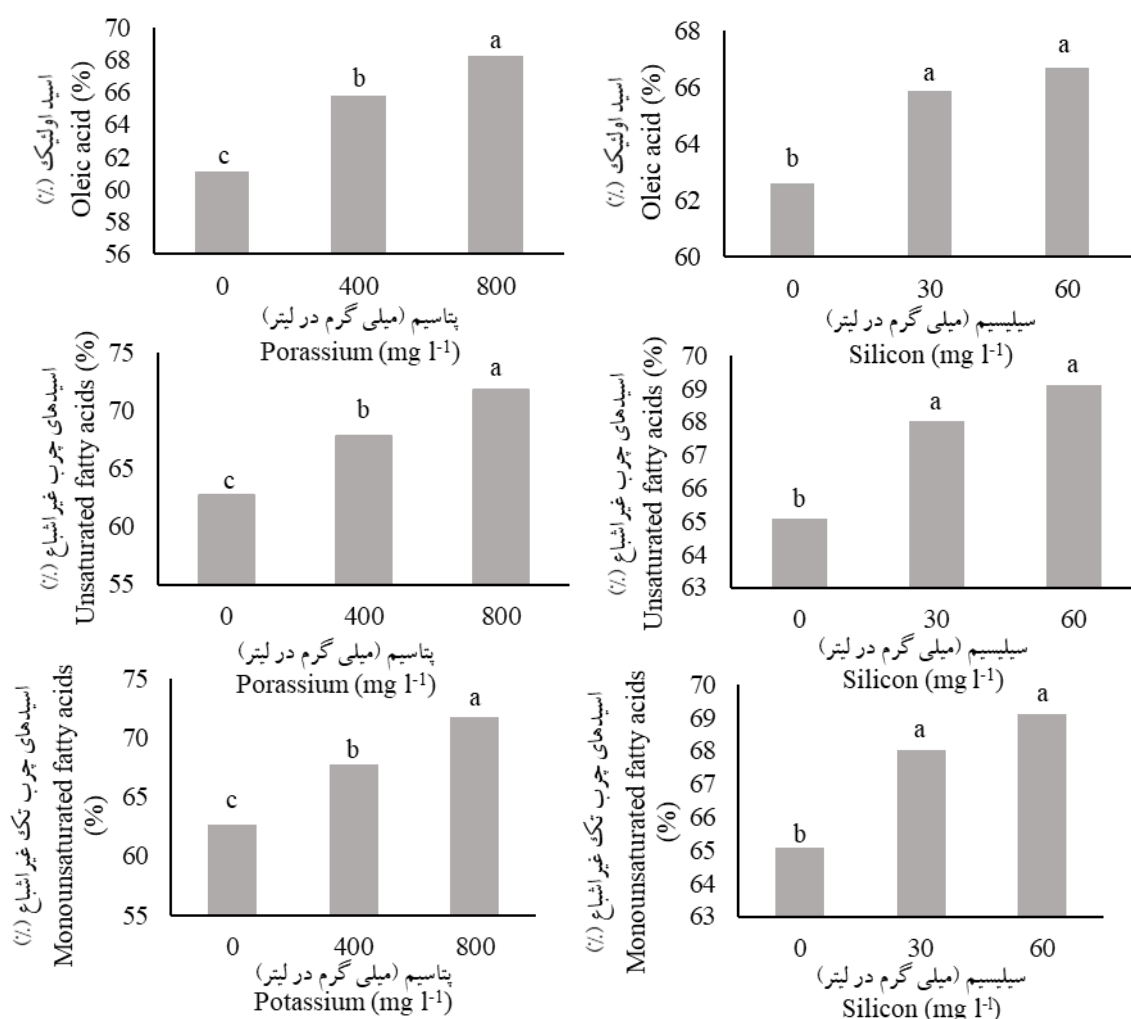


تیمار سیلیسیوم ۶۰ میلی گرم بر لیتر افزایش داد (شکل ۱).

اسید پالمیتوئیک بیشتر تحت تاثیر محلول پاشی برگی پتاسیم قرار گرفت و با افزایش غلظت پتاسیم مقدار این اسید افزایش یافت و غلظت ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر این عنصر منجر به تولید بیشترین میزان اسید پالمیتوئیک (۳/۵۲ درصد) شد که بیش از دو برابر شاهد بود (جدول ۲). به هر حال محلول پاشی برگی با سیلیسیوم و اثر متقابل این دو عنصر بر میزان اسید پالمیتوئیک معنی دار بود (جدول ۱). میزان اسیدهای چرب تک غیر اشباعی با کاربرد سیلیسیوم و پتاسیم افزایش یافت و با افزایش غلظت پتاسیم میزان اسیدهای چرب تک غیر اشباعی افزایش یافت و در تیمار ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم به حداکثر (۷۱/۷۶ درصد) رسید (شکل ۱). روند مشابهی در مورد کاربرد سیلیسیوم مشاهده گردید و تیمار ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم منجر به بیشترین سطح اسیدهای چرب تک غیر اشباعی (۶۹/۱۲ درصد) شد. نمونه‌های شاهد در هر دو تیمار کمترین میزان مجموع اسیدهای چرب تک غیر اشباعی را دارا بودند (شکل ۱).

میزان اسید لینولنیک در روغن زیتون رقم زرد نیز تحت تاثیر کاربرد سیلیسیوم و پتاسیم قرار گرفت. بیشترین میزان این اسید چرب غیر اشباع (۱/۲۴ درصد) در تیمار همزمان ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و ۳۰ و ۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم حاصل شد (جدول ۲)، هر چند تفاوت معنی داری

میزان اسید اولئیک تحت تاثیر تیمار پتاسیم و سیلیسیوم قرار گرفت، اما اثر متقابل این دو بر میزان این اسید چرب تک غیر اشباعی معنی دار نبود. تیمار پتاسیم باعث افزایش معنی داری در میزان اسید اولئیک روغن زیتون گردید، به طوریکه بیشترین درصد اسید اولئیک (۶۸/۲۴ درصد) در تیمار ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر نانوذرات پتاسیم و کمترین میزان آن (۶۱/۱۳ درصد) در تیمار شاهد ثبت شد (شکل ۱). همچنین تیمار سیلیسیوم باعث افزایش معنی دار در میزان این اسید چرب تک غیر اشباعی هم گردید و بیشترین (۶۶/۶۸ درصد) و کمترین (۶۲/۶۱ درصد) میزان اسید اولئیک به ترتیب در تیمار ۶۰ و صفر میلی گرم سیلیسیوم مشاهده شد. البته تفاوت میزان اسید اولئیک بین تیمار ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم معنی داری نبود. اثر اصلی پتاسیم و سیلیسیوم بر میزان کل اسیدهای چرب غیر اشباع روغن زیتون معنی دار بود، ولی اثر متقابل این دو عنصر تاثیر معنی داری بر میزان کل اسیدهای چرب غیر اشباع نداشت (جدول ۱). استفاده از غلظت ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم منجر به بیشترین تولید اسیدهای چرب غیر اشباع (۷۱/۷۶ درصد) شد، در حالیکه تیمار شاهد کمترین میزان اسیدهای چرب غیر اشباع (۶۲/۶۶ درصد) را داشت. کاربرد محلول پاشی برگی سیلیسیوم هم باعث افزایش معنی داری در میزان اسیدهای چرب غیر اشباع شد و میزان آن را از ۶۵/۰۸ درصد در تیمار شاهد به ۶۹/۱۲ درصد در



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی برگ‌گی با نانوذرات پتاسیم و سیلیسیم بر میزان اسیدهای چرب روغن زیتون رقم زرد. سمت چپ: از بالا به پایین اثر پتاسیم بر اسید اولئیک، اسیدهای چرب غیر اشباع و اسیدهای چرب تک غیر اشباعی. سمت راست: از بالا به پایین اثر سیلیسیم بر اسید اولئیک، اسیدهای چرب غیر اشباع و اسیدهای چرب تک غیر اشباعی در هر شکل، دو ستون که دارای حرف مشابه می باشند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Fig. 1. Mean comparison for the effect of foliar application of potassium and silicon nanoparticles on the fatty acids content in olive oil cv. Zard. Left: up to down, the effect of potassium on oleic acid, unsaturated fatty acids and monounsaturated fatty acids. Right: up to down, the effect of silicon on oleic acid, unsaturated fatty acids and monounsaturated fatty acids. In each figure, two columns with similar letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

نقش مهمی دارد. وجود میزان بالای اسیدهای چرب تک غیراشباعی که مهمترین آنها اسید اولئیک می باشد، ارزش تغذیه ای و اقتصادی روغن زیتون را بالا می برد و نقش بسیار تعیین کننده ای در کیفیت آن دارد، به طوریکه باعث کاهش بیماری های قلبی عروقی و عصبی شده و سرطان های سینه و روده می شود (Revelou *et al.*, 2021). بنابراین افزایش مقدار این اسیدهای چرب همیشه جزء اهداف به نژادی زیتون بوده است (Razeghi-Jahromi *et al.*, 2022b).

ترکیب اسیدهای چرب روغن زیتون بسیار تاثیر پذیر از ژنوتیپ گیاه، مراحل رشدی گیاه، شرایط آب و هوایی، عملیات داشت و حتی موقعیت میوه بر روی شاخه می باشد (Razeghi-Jahromi, *et al.* 2021; Revelou *et al.*, 2021; Shadivand *et al.*, 2022). یکی از مهمترین عوامل محیطی است که در سنتز و ترکیب اسیدهای چرب میوه زیتون موثر است و برخی پژوهشگران معتقدند که میزان اسید اولئیک و اسید پالمیتیک روغن زیتون در مناطق گرم نسبت به مناطق معتدله به ترتیب کمتر و بیشتر می شود (Zeinanloo *et al.*, 2015). علاوه بر شرایط اقلیمی، وضعیت عناصر غذایی موجود در درخت زیتون نقش اساسی در تولید و کیفیت روغن ایفا می کند. در این راستا مشخص شده است که پتاسیم و عناصر غذایی کم مصرف بور و روی از طریق تاثیر بر ساخت و متابولیسم کربوهیدرات ها، به عنوان پیش ماده

بین تیمارهای با سطوح ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و تیمار ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم وجود نداشت. میزان اسید لینولئیک در میوه زیتون هم تحت تاثیر کاربرد سیلیسیوم و پتاسیم قرار گرفت و کمترین مقدار آن در غلظت ۳۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم (۹/۷۲ درصد) مشاهده شد که تفاوت معنی داری با شاهد (۹/۹۲ درصد) نداشت. همچنین بیشترین میزان اسید لینولئیک (۱۲/۱۲ درصد) در تیمار ترکیبی ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم حاصل شد که تفاوت معنی داری با میزان این اسید چرب در تیمار ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم (۱۲/۰۸ درصد) نشان نداد (جدول ۲).

میزان اسیدهای چرب چند غیراشباعی هم تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفت و بیشترین میزان آن (۱۳/۳۶ درصد) در تیمار پتاسیم ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و ۳۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم ثبت گردید (جدول ۲). نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع به اسیدهای چرب اشباع هم تحت تاثیر اثر متقابل پتاسیم × سیلیسیوم قرار گرفت. بیشترین میزان این نسبت در بین تیمارهای استفاده شده در برهمکنش ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر پتاسیم و ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم و کمترین آن در تیمار ۶۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم (۴/۲۳) به دست آمد (جدول ۲). مهمترین ترکیب تجمع یافته در میوه زیتون روغن آن است که منبع غنی از اسیدهای چرب غیراشباع و اشباع می باشد و در تغذیه سالم انسان

است که نسبت به اسیدهای چرب چند غیراشباعی باعث افزایش مقاومت اکسیداتیو روغن زیتون شده و روغن با کیفیت بالاتری را تولید می‌شود (Shadivand *et al.*, 2022). کاربرد پتاسیم در گیاهان سبب بهبود کارایی فتوسنتزی گیاه می‌گردد. در اصل پتاسیم با بهبود شرایط برای باز و بسته شدن روزنه‌ها، حفظ فشار تورژسانس سلول و نگهداری رطوبت برگ می‌تواند تاثیر بسیار زیادی بر فرایند فتوسنتز و ماده سازی گیاه داشته باشد (Zarei *et al.*, 2024). در همین راستا نقش مفید این عنصر در افزایش کلروفیل برگ ارقام مختلف زیتون از جمله میشن، کرونیک و دزفولی هم گزارش شده است (Zivdar *et al.*, 2016). همچنین کاربرد پتاسیم می‌تواند موجب جذب بیشتر برخی از عناصر مغذی دیگر شود، به طوری که محلول پاشی برگ با پتاسیم باعث افزایش جذب آهن، روی و نیتروژن در زیتون شد (Saykhul *et al.*, 2014).

کاربرد پتاسیم میزان فتوسنتز در کلروپلاست و همچنین سرعت انتقال کربوهیدرات ساخته شده در اندام‌های رویشی را از طریق آوندهای آبکش به بافت‌های هدف افزایش می‌دهد (Larbi *et al.*, 2020; Restrepo-Diaz *et al.*, 2008). در مواقعی که شرایط برای فتوسنتز گیاه بهبود می‌یابد، کربوهیدرات‌های بیشتری در گیاه تولید و انباشته می‌شود که از طریق فرآیند تجزیه قندها منجر به افزایش تولید انرژی در گیاه

سنتز روغن و نیز تنظیم فعالیت‌های آنزیمی موثر در سنتز اسیدهای چرب، ساختار مواد آلی و بهبود فتوسنتز نقش کلیدی در کیفیت و ترکیب روغن زیتون دارند (Gholami *et al.*, 2019).

برخی پژوهشگران (Sarrwy *et al.*, 2010; Ramezani and Shekafandeh, 2011; Gholami *et al.*, 2019) گزارش کرده‌اند که تغذیه برگ به خصوص با عناصر غذایی پتاسیم، بور و روی به تنهایی یا در ترکیب با هم می‌تواند کیفیت روغن زیتون را بهبود دهند و اثر معنی‌داری بر ارتقای کیفیت و میزان روغن زیتون داشته باشند. گزارش‌های پژوهش‌های قبلی حاکی است که ترکیب اسیدهای چرب در درختان زیتون محلول‌پاشی شده با سولفات پتاسیم، در مقایسه با درختان شاهد، بهبود یافته به طوری که میزان اسیدهای چرب اشباع اسید پالمیتیک و اسید استئاریک کاهش ولی اسید اولئیک در درختان تیمار شده با سولفات پتاسیم افزایش ۱ تا ۳ درصدی را داشت (Tanaa *et al.*, 2017). هم‌چنین محلول‌پاشی ارقام زیتون کرونیک، میشن و دزفولی با سولفات پتاسیم در شرایط آب و هوای اهواز سبب بهبود پروفیل اسیدهای چرب از طریق افزایش میزان اسید اولئیک و نسبت اسید اولئیک به اسید لینولئیک در هر سه رقم زیتون مورد مطالعه گردید (Zivdar *et al.*, 2016).

یکی از مهمترین ویژگی‌های کیفیت روغن زیتون محتوا اسیدهای چرب تک غیراشباعی

گونه‌های مختلف گیاهی دخیل است (Pavlovic et al., 2021). همچنین این عنصر نقش تحریک‌کنندگی در گیاهان داشته و می‌تواند متابولیت‌های مختلف را تحت تاثیر قرار دهد.

یکی از مهمترین آثار سیلیسیم بر گیاهان کمک به گیاهان در کاهش تنش‌های زنده و محیطی است (Olyaie Torshiz et al., 2020). در اصل به نظر می‌رسد سیلیسیم تنها عنصر شناخته شده‌ای است که به طور موثر اثر کاهنده بر تنش‌های زنده (پاتوژنها و آفات) و غیر زنده (از قبیل خشکی، شوری، فلزات سنگین، نور ماوراء بنفش، و عدم تعادل تغذیه‌ای) دارا می‌باشد (Pavlovic et al., 2021). دمای بالا یکی از عوامل تاثیر گذار بر کاهش کمی و کیفیت روغن زیتون می‌باشد (Gholami et al., 2019) و سیلیسیم بعنوان عنصری که می‌تواند برای کاهش خسارت تشعشع زیاد خورشید و دمای بالای محیط بکار گرفته شود و در تعدیل دمای کانوپی درخت مفید واقع شود (Abdollahi et al., 2024). بنابراین سیلیسیم قادر است با متعادل‌تر نمودن جذب و توزیع عناصر غذایی در گیاه و تقویت گیاه در برابر تنش‌های مختلف منجر به بهبود عملکرد گیاه شود. به عبارتی کاهش تنش‌های اکسیداتیو در گیاه می‌تواند منجر به افزایش بیوسنتز اسیدهای چرب و یا کاهش تجزیه آنها در گیاه شود و منجر به بهبود محتوا اسیدهای چرب که حساسیت بالایی در برابر اکسید شدن

می‌گردد. در فرایند تجزیه قند در گیاه استیل کوآنزیم A تولید می‌شود که می‌تواند بعنوان پیش‌ساز برای تشکیل اسیدهای چرب عمل کند. بنابراین تغییر در میزان کربوهیدرات‌های میوه زیتون از طریق تغذیه برگی با عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف می‌تواند با تاثیر بر منابع پیش‌ساز اسیدهای چرب در تشکیل روغن در میوه زیتون موثر باشد (Mechri et al., 2009). آثار مثبت پتاسیم بر روغن زیتون را می‌توان به نقش این عنصر ضروری در فعالیت‌های سلولی از قبیل نقش فعال‌کنندگی پتاسیم در آنزیم‌های متعدد دخیل در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و بیوسنتز اسیدهای چرب از کربوهیدرات‌ها نسبت داد. گزارش شده که پتاسیم ممکن است تاثیر منفی دمای بالا بر سنتز و انباشت روغن در میوه زیتون را با دخالت در فعالیت آنزیم‌ها تعدیل کند (Gholami et al., 2019).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که محلول پاشی نانوسیلیسیم هم تاثیر زیادی بر ترکیب روغن زیتون داشت به طوری که محلول پاشی با سیلیسیم منجر به افزایش اسید اولئیک، اسید پالمیتولئیک، اسیدهای چرب تک غیر اشباع و کل اسیدهای چرب غیر اشباع شد. البته اثر معنی‌دار این عنصر بر ترکیبات روغن و اسید چرب گشیش نیز گزارش شده است (Amiripour et al., 2021). عنصر سیلیسیم نقش مهمی در جذب و انتقال عناصر ضروری مختلف در گیاهان داشته و با سازکارهای متعددی در تنظیم کمبود و سمیت

اسید اولئیک و اسید پالمیتوئیک بیشتر تحت تاثیر محلول پاشی برگی جداگانه هر یک از این دو عنصر قرار گرفتند، در حالی که در برخی از قبیل اسیدهای چرب چند غیراشباعی و اسیدهای چرب اشباع استفاده همزمان این دو ترکیب اثر هم افزایی نشان وجود داشت. در مجموع، محلول پاشی برگی با نانوذرات پتاسیم و سیلیسیم ممکن است از طریق تاثیر مستقیم بر فتوسنتز و یا فعالیت آنزیم‌هایی که در بیوسنتز اسیدهای چرب نقش دارند و همچنین کاهش آثار منفی تنش‌های محیطی مختلف از قبیل تنش دمای بالا بر کیفیت روغن زیتون داشته تاثیر مثبت داشته باشند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر و در نظر گرفتن کارایی بالاتر و آثار سوء کمتر زیست محیطی، در مقایسه با کودهای شیمیایی متداول، استفاده از محلول پاشی برگی نانوذرات سیلیسیم و پتاسیم بعنوان راهکاری مفید برای بهبود کمیت و کیفیت روغن زیتون پیشنهاد می شود.

### سپاسگزاری

هزینه‌های این پژوهش از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه ایلام تامین شد که نگارندگان بدین وسیله مراتب سپاسگزاری خود را اعلام می‌دارند.

### تعارض منافع

نگارندگان اعلام می کنند که هیچگونه تعارض منافی ندارند.

دارند، گردد. نتایج پژوهش حاضر موید این مطلب است که کاربرد سیلیسیم به تنهایی نقش مهمی در افزایش محتوا اسیدهای چرب بخصوص انواع غیر اشباع داشت که با نقش محافظتی سیلیسیم مطابقت دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در مورد برخی از اسیدهای چرب استفاده همزمان از پتاسیم و سیلیسیم تاثیر بیشتری نسبت به کاربرد هر کدام از این عناصر داشت. اثر هم افزایی سیلیسیم با عناصر مختلف از جمله پتاسیم در گزارش‌های متعددی ذکر شده است (Pavlovic *et al.*, 2021; Kamruzzaman *et al.*, 2023). بعنوان نمونه کاربرد سیلیسیم باعث جبران کمبود پتاسیم شده و از طریق تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانع پراکسیده شدن لیپیدها و باعث مقاومت بیشتر گیاه شده است (dos Santos Sarah *et al.*, 2021; Pavlovic *et al.*, 2021). نتایج مشابهی در مطالعه اخیر در زیتون گزارش شده و مشخص شده است که استفاده از سیلیسیم هم باعث افزایش جذب پتاسیم و هم تحرک آن در زیتون رقم آربکین گردید. (Martos-García *et al.*, 2024).

نتایج کلی پژوهش حاضر نشان داد محلول پاشی برگی با نانو کودهای سیلیسیم و پتاسیم بر ترکیبات و میزان اسیدهای چرب روغن زیتون موثر بود. استنباط می شود برخی از ترکیبات روغن بخصوص اسیدهای چرب تک غیراشباعی، کل اسیدهای چرب غیراشباع،

## References

- Abdollahi, F., Erfani-Moghadam, J., Zarei, A. and 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), pp.123-134 (in Persian). DOI: 10.22059/ijhs.2023.362286.2116
- Amiripour, A., Ghanbari Jahromi, M., Soori, M.K. and Mohammadi Torkashvand, A. 2021.** Changes in essential oil composition and fatty acid profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under salinity and foliar-applied silicon. *Industrial Crops & Products*, 168, 113599. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113599
- 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. and Singh, V.K. 2022.** Nanofertilizers for agricultural and environmental sustainability. *Chemosphere*, 292, 133451. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.133451
- Bahamonde, H.A., Pimentel, C., Lara, L.A., Bahamonde-Fernández, V. and Fernández, V. 2023.** Foliar application of potassium salts to olive, with focus on accompanying anions. *Plants*, 12(3), pp.1-12. DOI: 10.3390/plants12030472
- Ben-Gal, A., Dag, A., Basheer, L., Yermiyahu, U., Zipori, I. and Kerem Z. 2011.** The influence of bearing cycles on olive oil quality response to irrigation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), pp.11667–11675. DOI: 10.1021/jf202324x
- Busso, M.A., Suñer, L.G. and Rodríguez, R.A. 2022.** Effects of different fertilization sources on *Olea europaea* (Oleaceae). Impact on olives and oil yield and quality. Considerations on environmental sustainability and soil use. A Review. *Lilloa*, 59(2), pp.199-220. DOI: 10.30550/j.lil/2022.59.2/2022.08.23
- Dag, A., Ben-David, E., Kerem, Z., Ben-Gal, A., Erel, R., Basheer, L. and Yermiyahu, U. 2009.** Olive oil composition as a function of nitrogen, phosphorus and potassium plant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(11), pp.1871-1878. DOI: 10.1002/jsfa.3664
- Dag, A., Kerem, Z., Yogev, N., Zipori, I., Lavee, S. and Ben-David, E. 2011.** Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 127(3), pp.358-366. DOI: 10.1016/j.scienta.2010.11.008
- dos Santos Sarah, M.M., de Mello Prado, R., Teixeira G.C.M., de Souza Júnior J.P., de Medeiros R.L.S. and Barreto R.F. 2021.** Silicon supplied via roots or leaves relieves potassium deficiency in maize plants. *Silicon*, 14(3), pp.773-782. DOI:

10.1007/s12633-020-00908-1

- Fauteux, F., Rémus-Borel, W., Menzies, J. G. and Bélanger, R.R. 2005.** Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249(1), pp.1-6. DOI: 10.1016/j.femsle.2005.06.034
- Fernández, V., Gil-Pelegrín, E. and Eichert, T. 2021.** Foliar water and solute absorption: an update. *The Plant Journal*, 105(4), pp.870-883. DOI: 10.1111/tpj.15090
- Gholami, R., Moallemi, N., Khaleghi E. and Seyyednejad S.M. 2019.** Study effect of potassium, zinc and boron foliar application on fatty acid compositions of three olive cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), pp.609-620 (in Persian). DOI:10.22059/ijhs.2018.258386.1448
- Gonzalez, S., Duncan, S. E., O’Keefe, S. F., Sumner, S. S. and Herbein, J. H. 2003.** Oxidation and textural characteristics of butter and ice cream with modified fatty acid profiles. *Journal of Dairy Science*, 86(1), pp.70-77. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73585-1
- Haberman, A., Dag, A., Shtern, N., Zipori, I., Erel, R., Ben-Gal, A. and Yermiyahu, U. 2019.** Long-Term impact of potassium fertilization on soil and productivity in intensive olive cultivation. *Agronomy*. 9(9), 525. DOI: 10.3390/agronomy9090525
- Jamshidi Jam, B., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V. and Dolatabadian, A. 2023.** The effects of salicylic acid and silicon on safflower seed yield, oil content, and fatty acids composition under salinity stress. *Silicon*, 15(9), 4081–4094. DOI: 10.1007/s12633-023-02308-7
- Kamruzzaman, M., Akter, S., Khan, M. Z. and Amin, M.S. 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(15), 6485-6496. DOI: 10.1007/s12633-023-02509-0
- Larbi, A., Kchaou, H., Gaaliche, B., Gargouri, K., Boulal, H. and Morales, F. 2020.** Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. *Scientia Horticulturae*, 260, 108912. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108912
- Manaf, A., Shoukat, M., Sher, A., Qayyum, A. and Nawaz, A. 2020.** Seed yield and fatty acid composition in sesame (*Sesamum indicum* L.) as affected by silicon application under a semi-arid climate. *Agrociencia*, 54(3), pp.367-376. DOI: 10.47163/agrociencia.v54i3.1912
- Martos-García, I., Fernández-Escobar, R. and Benlloch-González, M. 2024.** Silicon



- is a non-essential element but promotes growth in olive plants. *Scientia Horticulturae*, 323, 112541. DOI:10.1016/j.scienta.2023.112541
- Mechri, B., Issaoui, M., Echbili, A., Chahab, H., Mariem, F. B., Braham, M. and Hammami, M. 2009.** Olive orchard amended with olive mill wastewater: Effects on olive fruit and olive oil quality. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2-3), pp.1544-1550. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.026
- Mengel, K. 2007.** Potassium. Pp. 91–120. In: Barker, A.V. and Pilbeam, D.J. (eds.) *Handbook of Plant Nutrition*. 1<sup>st</sup> edition. CRC Taylor and Francis. New York, USA.
- Nascimento-Silva, K., Benloch-Gonzalez, M. and Fernandez-Escobar, R. 2022.** Silicon nutrition in young olive plants: effect of dose, application method, and cultivar. *HortScience*. 57(12), pp.1534–1539. DOI: 10.21273/HORTSCI16750-22
- Olyaie Torshiz, A., Goldansaz, S.H., Motesarezadeh, B., Asgari-Sarcheshmeh, M. A. and 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 of Crop Protection*, 6(3), pp.327–340.
- Olyaie Torshiz, A., Goldansaz, S.H., Motesarezadeh, B., Askari, M.A. and Zarei, A. 2020.** The influence of fertilization on pomegranate susceptibility to infestation by *Ectomyelois ceratoniae*. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), pp.1156-1173. DOI: 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., Vidović, N., Rončević, S., Nemet, I., Džafić, N. and Soldo, B. 2024.** Silicon foliar fertilisation ameliorates olive leaves polyphenolic compounds levels and elevates its potential towards different cancer cells. *Applied Sciences*, 14(11), 4669. DOI: 10.3390/app14114669
- Patil, H., Tank, R.V. and Manoli, P. 2017.** Significance of silicon in fruit crops- a review. *Plant Archives*, 17(2), pp.769-774.
- Pavlovic, J., Kostic, L., Bosnic, P., Kirkby, E.A. and Nikolic, M. 2021.** Interactions of silicon with essential and beneficial elements in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 697592. DOI: 10.3389/fpls.2021.697592
- Ramezani, S. and Shekafandeh, A. 2011.** Influence Zn and K sprays on fruit and pulp growth in olive (*Olea europaea* L. cv. *Amygdalifolia*). *Iran Agricultural Research*, 30(1-2), pp.1-10 (in Persian).

- Razeghi-Jahromi, F., Hosseini-Mazinani, M., Razavi, K. and Zarei, A. 2021.** Analysis of fatty acid compositions and differential gene expression in two Iranian olive cultivars during fruit ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(3), pp.1-43. DOI: 10.1007/s11738-021-03218-0.
- Razeghi-Jahromi, F., Parvini, F., Zarei, A. and 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: 10.1016/j.scienta.2022.111415
- Razeghi-Jahromi, F., Zarei, A., Parvini, F. and 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), 2200079. DOI: 10.1002/ejlt.202200079
- Restrepo-Diaz, H., Benlloch, M. and Fernández-Escobar, R. 2008.** Plant water stress and K<sup>+</sup> starvation reduce absorption of foliar applied K<sup>+</sup> by olive leaves. *Scientia Horticulturae*, 116, pp. 409-413. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.03.004
- Revelou, P.K., Xagoraris, M., Alexandropoulou, A., Kanakis, C.D., Papadopoulos, G.K., Pappas, C.S. and Tarantilis, P.A. 2021.** Chemometric study of fatty acid composition of virgin olive oil from four widespread greek cultivars. *Molecules*, 26(14), 4151. DOI: 10.3390/molecules26144151
- Rousseaux, M.C., Cherbiy-Hoffmann, S.U., Hall, A.J. and Searles, P.S. 2020.** Fatty acid composition of olive oil in response to fruit canopy position and artificial shading. *Scientia Horticulturae*, 271, 109477. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109477
- Sanchez, J. and Harwood, J. L. 2002.** Biosynthesis of triacylglycerols and volatiles in olives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), pp.564-573. DOI: 10.1002/1438-9312(200210)104:9/10<564::AID-EJLT564>3.0.CO;2-5
- Sarrwy, S.M.A., Mohamed, E.A. and Hassan H.S.A. 2010.** Effect of foliar sprays with potassium nitrate and mono-potassium phosphate on leaf mineral contents, fruit set, yield and fruit quality of picual olive trees grown under sandy soil conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 8(4), pp.420-430.
- Saykhul, A., Chatzissavvidis, C., Therios, I., Dimassi, K. and Chatzistathis, T. 2014.** Growth and nutrient status of olive plants as influenced by foliar potassium applications. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(3), pp.602-615. DOI:

10.4067/S0718-95162014005000048

- Seleiman, M.F., Almutairi, K.F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B.A. and Battaglia, M.L. 2021.** Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? *Plants*, 10(1), pp.1-27. DOI: 10.3390/plants10010002
- Shadivand, F., Erfani Moghadam, J., Ghanbari, F., 2022.** Evaluation of morpho-physiological characteristics of leaves and fruits, and oil quality properties of some olive cultivars and genotypes in Ilam province in Iran. *Seed and Plant Journal*, 38(1), pp.109-127 (in Persian). DOI: 10.22092/spj.2023.361111.1292
- Teres, S., Barceló-Coblijn, G., Benet, M., Alvarez, R., Bressani, R., Halver, J.E., and Escriba, P.V. 2008.** Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 105(37), pp.13811–13816. DOI: 10.1073/pnas.0807500105
- Thanaa, S.M.M., Enaam, S.A.M. and El-Sharony, T.F. 2017.** Influence of foliar application with potassium and magnesium on growth, yield and oil quality of "Koroneiki" olive trees. *American Journal of Food Technology*, 12(3), pp.209-220. DOI: 10.3923/ajft.2017.209.220
- Wang, Q., Liu, R., Chang, M., Zhang, H., Jin, Q. and Wang, X. 2022.** Dietary oleic acid supplementation and blood inflammatory markers: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(9), pp.2508–2525. DOI: 10.1080/10408398.2020.1854673
- Zarei, A., Abdollahi, F., Erfani-Moghadam, J. and Rostaminia, M. 2024.** Foliar application of silica and potassium sulphate on some characteristics of pomegranate fruit cv. 'Malase-Saveh'. *Plant Production*, 47(2), pp.309-321 (in Persian). DOI: 10.22055/ppd.2024.46385.2150
- Zeinanloo, A.A., Arji, I., Taslimpour, M., Ramazani Malak Roodi, M. and Azimi, M. 2015.** Effect of cultivar and climatic conditions on olive (*Olea europaea* L.) oil fatty acid composition. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 46(2), pp.233-242 (in Persian). DOI: 10.22059/ijhs.2015.54619
- Zipori, I., Yermiyahu, U., Dag, A., Erel, R., Ben-Gal, A., Quan, L. and Kerem, Z. 2023.** Effect of macronutrient fertilization on olive oil composition and quality under irrigated, intensive cultivation management. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(1), pp.48–56, DOI: 10.1002/jsfa.12110

**Zivdar, S., Arzani, K., Souri, M. K., Moallemi, N. and Seyyednejad, S.M. 2016.**  
Physiological and biochemical response of olive (*Olea europaea* L.) cultivars to foliar potassium application. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(7), pp.1897-1908. DOI: 20.1001.1.16807073.2016.18.7.22.2

**RESEARCH ARTICLE**

**Effect of Foliar Application of Silicon and Potassium Nanoparticles on the Fatty Acid Composition of Olive Oil cv. Zard**

**A. Zarei<sup>1</sup>, J. Erfani-Moghadam<sup>2\*</sup> , S. Hashemi<sup>3</sup> and A. Shirmardi<sup>4</sup>**

1. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran.

2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

3. Former M. Sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

4. Assistance Professor, Department of Chemistry, Masjed Soleiman University, Masjed Soleiman, Iran.

**ABSTRACT**

Zarei, A., Erfani-Moghadam, J., Hashemi, S. and Shirmardi. A. 2023. Effect of foliar application of silicon and potassium nanoparticles on the fatty acid composition of olive oil cv. Zard. *Seed and Plant*, 39, pp.597 – 619 (in Persian).

Due to the role of optimal nutrition and fertilizer types applied on olive fatty acids, in this study the effect of foliar application of nano-potassium (K) and nano-silicon (Si) fertilizers on the fatty acid composition of olive fruit cv. Zard were investigated in spring and summer of 2021 in Darreh Shahr, Ilam province, Iran. The K nanoparticles at three levels; 0, 400, and 800 mg l<sup>-1</sup> and Si nanoparticles at three levels; 0, 30, and 60 mg l<sup>-1</sup> nanoparticles were foliar applied on olive tree canopies using factorial arrangements in complete randomized block design with three replications. The results showed that the content of majority of fatty acids in the oil olive fruit were affected by treatments and the content of both saturated and unsaturated fatty acids were increased in fruits of treated plants. The highest saturated fatty acids content (19.24%) and palmitic acid (15.47%) was recorded in 800 mg l<sup>-1</sup> potassium and 60 mg l<sup>-1</sup> silicon, respectively, while arachidic acid was highest (0.94%) in 400 mg l<sup>-1</sup> potassium and 30 mg l<sup>-1</sup> silicon. The maximum stearic acid (3.37%) was attained in 400 mg l<sup>-1</sup> potassium. The highest level of linolenic acid (1.24%) and linoleic acid (12.12%) was recorded in the simultaneous application of 800 mg l<sup>-1</sup> potassium and 30 mg l<sup>-1</sup> silicon, while application of 800 mg l<sup>-1</sup> potassium and or 60 mg l<sup>-1</sup> silicon led to the highest content of oleic, palmitoleic, unsaturated and mono unsaturated fatty acids. It is concluded that intermediate levels of potassium is more efficient for enhancement of saturated fatty acid while unsaturated fatty acids were highest in 800 mg l<sup>-1</sup>. Moreover, application of each fertilizer at high concentrations led to the highest monounsaturated fatty acids content, while a combination of lower levels of potassium and silicon was more efficient for increasing the content of saturated and polyunsaturated fatty acids.

**Keywords:** Olive, nano-fertilizer, foliar spraying, oil composition, unsaturated fatty acids.

## Introduction

Olive (*Olea europaea* L.) is one of the most important fruit crops widely grown worldwide and has been praised for its high quality oil in the mesocarp of its fruits. The mono-unsaturated fatty acids (MUFA) of oleic acid (C18:1) is the major component of olive oil that along with other unsaturated fatty acids such as linoleic acid (C18:2) and linolenic acid (C18:3) constitute high-quality oil that its regular inclusion into the human diet is strongly suggested mainly due its health promoting properties (Revelou *et al.*, 2021; Razeghi-Jahromi *et al.*, 2022b). The oil content and composition of olive oil is influenced by different factors including genotype, environmental conditions as well as orchard management practices. Proper orchard fertilization is among the important factors that affects productivity of olive trees and oil composition of its fruit (Zipori *et al.*, 2023). Application of new fertilizer such as nanoparticle-sized nutrient has opened up new opportunities for delivering nutrient to the plant in a way that is more efficient and sustainable than common synthetic fertilizers, due to their higher uptake rate by plants and lower residue in the soil and impact on the environment (Seleiman *et al.*, 2021). The aim of the present study was to evaluate the effects of foliar application of potassium (K) and silicon (Si) nano-fertilizers on the composition and quality of olive oil.

## Materials and Methods

The effect of foliar application of nano-potassium (K) and nano-silicon (Si) fertilizers were investigated on the fatty acid composition of olive fruit cv. Zard in spring and summer of 2021 in Darreh Shahr, Ilam province, Iran. For this purpose, The K nanoparticles at three levels; 0, 400, and 800 mg l<sup>-1</sup> and Si nanoparticles at three levels; 0, 30, and 60 mg l<sup>-1</sup> nanoparticles were foliar applied, twice during the growing season, on olive tree canopies using factorial arrangements in complete randomized block design with three replications. The fruits were harvested at ripening stage and their oil composition were determined using gas chromatography method. Data were subjected to the analysis of variance with SAS software (Ver. 9.4) and the means were compared using least significant differences (LSD) test.

## Results and Discussion

The results showed that the content of majority of fatty acids in the oil olive fruit were affected by treatments and the content of both saturated and unsaturated fatty acids were increased in fruits of treated plants. The highest saturated fatty acids content (19.24%) and palmitic acid (15.47%) was recorded in 800 mg l<sup>-1</sup> potassium and 60 mg l<sup>-1</sup> silicon, respectively, while arachidic acid was highest (0.94%) in 400 mg l<sup>-1</sup> potassium and 30 mg l<sup>-1</sup> silicon. The maximum stearic acid (3.37%) was attained in 400 mg l<sup>-1</sup> potassium. The highest level of linolenic acid (1.24%) and linoleic acid (12.12%) was recorded in the simultaneous application of 800 mg l<sup>-1</sup> potassium and 30 mg l<sup>-1</sup> silicon, while application of 800 mg l<sup>-1</sup> potassium and or 60 mg l<sup>-1</sup> silicon led to the highest content of oleic, palmitoleic, unsaturated and mono unsaturated fatty acids. It is concluded that intermediate levels of potassium are more efficient for enhancement of saturated fatty acid while unsaturated fatty acids were highest in 800 mg l<sup>-1</sup>. Moreover, application of each fertilizer at high concentrations led to the highest monounsaturated fatty acids

content, while a combination of lower levels of potassium and silicon was more efficient for increasing the content of saturated and polyunsaturated fatty acids.

In general, foliar application of potassium and silicon nano-fertilizers positively affected the content and composition of olive oil (Sleiman *et al.*, 2021). Results of this study revealed that nanoparticle-sized nutrients might be a good choice for improving productivity of fruit crop (Zipori *et al.*, 2023). In addition to potassium that is an essential nutrient for plant, silicon foliar application also significantly affected the composition and quality properties of olive oil. The results also showed the synergistic effects of potassium and silicon. Therefore, it is suggested that simultaneous foliar application of potassium and silicon nano-fertilizers be included in the olive orchard nutrition management practices.

## References

- Razeghi-Jahromi, F., Zarei, A., Parvini, F. and 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), 2200079. DOI: 10.1002/ejlt.202200079
- Revelou, P.K., Xagoraris, M., Alexandropoulou, A., Kanakis, C.D., Papadopoulos, G.K., Pappas, C.S. and Tarantilis, P.A. 2021.** Chemometric study of fatty acid composition of virgin olive oil from four widespread greek cultivars. *Molecules*, 26(14), 4151. DOI: 10.3390/molecules26144151
- Seleiman, M.F., Almutairi, K.F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B.A. and Battaglia, M.L. 2021.** Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? *Plants*, 10(1), pp.1-27. DOI: 10.3390/plants10010002
- Zipori, I., Yermiyahu, U., Dag, A., Erel, R., Ben-Gal, A., Quan, L. and Kerem, Z. 2023.** Effect of macronutrient fertilization on olive oil composition and quality under irrigated, intensive cultivation management. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(1), pp.48–56, DOI: 10.1002/jsfa.12110

---

\*Corresponding author: j.erfani@ilam.ac.ir

Tel.: +988432227015

Received: 16 November 2023

Accepted: 18 January 2024



2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.