فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۲۲۷-۲۴۴
https://doi.org/10.22034/14.69.227

مقاله پژوهشی

بهبود کیفیت بیوشیمیایی و فیزیکی میوه انگور سلطانی با محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم

علی بهمنی

گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶)

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم بر ویژگی‌های کیفی میوه انگور رقم سلطانی در یکی از باغات شهرستان ملکان انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به صورت چندمشاهده‌ای با سه تکرار اجرا گردید. تیمار آزمایشی محلول-پاشی کود نانوکلات پتاسیم در چهار سطح (شاهد، ۱، ۲ و ۴ در هزار) بود که در سه مرحله پیش از گلدهی، دو هفته پس از تشکیل میوه و یک ماه پس از مرحله دوم انجام گرفت. به منظور تعیین ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه، نمونه برگ به صورت چندمشاهده‌ای از سه موقعیت پایین، وسط و بالا تهیه شد. نتایج نشان داد که غلظت ۴ در هزار نانوکلات پتاسیم بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های کیفی میوه داشت. در برگ‌های بالایی، این غلظت باعث افزایش سفتی میوه به ۴/۶۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، طول حبه به ۱۳/۸۷ میلی‌متر، میزان فلاونوئید به ۵۸/۱۳ میلی‌گرم بر گرم و پروتئین به ۱/۹۲٪ شد. در برگ‌های پایینی، همین غلظت موجب افزایش قند کل به ۲۸/۲۶ میلی‌گرم بر گرم، نیتروژن به ۳/۶۸٪، فسفر به ۳/۹۷٪ و پتاسیم به ۲/۷۶٪ شد. همچنین برگ‌های میانی که با غلظت ۴ در هزار تیمار شده بودند، بیشترین مقدار فنل (۶۸/۰۲ میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل (۴/۵۶ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید (۰/۸۰ میلی‌گرم بر گرم) را نشان دادند. جالب توجه اینکه کمترین میزان اسیدیته میوه (۱/۶۶) نیز در تیمار برگ‌های پایینی با غلظت ۴ در هزار مشاهده شد. این یافته‌ها به وضوح نشان می‌دهد که استفاده از نانوکلات پتاسیم با غلظت ۴ در هزار می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود ویژگی‌های کیفی انگور رقم سلطانی مورد استفاده قرار گیرد، با این تفاوت که اثرات آن بسته به موقعیت برگ‌های محلول‌پاشی‌شده متفاوت است. این نتایج می‌تواند با تکرار در شرایط مختلف محیطی و تکرار آن به باغداران در مدیریت بهینه تغذیه باغات انگور کمک شایانی نماید.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدانی، تغذیه برگی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نانو ذره

مقدمه

انگور (*Vitis vinifera* L.) از خانواده Vitaceae دارای ۱۷ جنس و حدود ۱۰۰۰ گونه به شکل بوته‌ای یا بالارونده است. این گیاه عمدتاً در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر رشد می‌کند، اما گونه خوراکی آن در اقلیم‌های معتدل پرورش‌یافته و به‌عنوان یک محصول مهم در بیش از ۹۰ کشور کشت می‌شود (Ma and Zhang, 2017). انگور پنجمین میوه پرتولید جهان است و کشورهایی مانند آمریکا، چین، ایتالیا و فرانسه از تولیدکنندگان اصلی آن هستند. همچنین، از دوران یونان و روم باستان برای شراب‌سازی استفاده می‌شد. انگور در ایران ۱۱۳۵۵۰ هکتار سطح زیرکشت با متوسط عملکرد ۱۲۹۷۴ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص داده است و در بین

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: bahmani@maragheh.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

کشورهای جهان با تولید ۱۴۷۳۲۴۲ تن در رتبه چهاردهم قرار گرفته است (FAO, 2023).

یکی از مواردی که سلامتی محصولات کشاورزی را تهدید می‌کند، استفاده بی‌رویه از کودها است که علاوه‌بر اثرات منفی بر سلامت انسان، کشاورزی پایدار و محیط‌زیست را با مخاطرات زیادی روبه‌رو می‌کند (Vattani *et al.*, 2021). پتاسیم یکی از عناصر پرمصرف است که نقش مهمی در تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی دارد و حرکات روزنه‌ها را کنترل می‌کند، همچنین مطالعات نشان داده که پتاسیم اثر مستقیم و غیرمستقیم در فعال‌سازی بیش از ۱۲۰ آنزیم از جمله آنزیم‌هایی که مسئول استفاده از انرژی، متابولیسم نیتروژن و تنفس هستند، دارد (Cui and Tcherkez, 2021). از آن‌جایی که فقدان پتاسیم باعث تجمع آمین‌های سمی مانند آگماتین و پوترسین می‌شود بنابراین، منجر به ضعف سیستم ریشه، کاهش رشد عمومی گیاه و در نهایت کاهش تعداد غده‌ها و میوه‌ها می‌شود (Lester *et al.*, 2010). پتاسیم برای انتقال و تشکیل کربوهیدرات‌ها، ساخت پروتئین و انجام فعالیت‌های فتوسنتزی، ایجاد و تنظیم پتانسیل اسمزی، مقاومت و استحکام ساقه در مقابل خوابیدگی بسیار ضروری است (Zhang *et al.*, 2020).

فناوری نانو در رفع مشکلات کشاورزی توانسته به‌خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته به آن باز کند و در حال‌حاضر کوددهی نانو در محصولات مختلف به منظور تغذیه و کاهش اثرات تنش استفاده می‌شود (Sajyan *et al.*, 2018). یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش خاک و آب، استفاده از نانوکلات‌ها برای تغذیه گیاهان است. استفاده از نانوکلات‌ها به‌منظور کنترل دقیق رهاسازی مواد مغذی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط‌زیست باشد (Al-Juthery *et al.*, 2021). به‌طورکلی، نانو مواد مغذی کارآمدتر و مقرون به‌صرفه‌تر از کودهای معمولی هستند و استفاده از انواع کودهای نانو تأثیر عمده‌ای بر عملکرد محصولات کشاورزی، حفاظت از منابع طبیعی و کاهش هزینه کود برای تولید را در پی دارد (Al-Juthery *et al.*, 2021). از جمله مهم‌ترین نانوکلات‌های مورد استفاده در کشاورزی، نانوکلات‌های پتاسیم، نیتروژن، روی و آهن است (Seif Sahandi *et al.*, 2019). در تحقیقات مختلف اثرات مثبت نانوکودها بر روی انگور گزارش شده است، El said و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی که بر روی انگور انجام دادند نشان دادند که کاربرد نانوروی به‌طور قابل توجهی سطح برگ، وزن تر، غلظت آهن برگ، تعداد خوشه، وزن خوشه و عملکرد کل را در مقایسه با کود معمولی افزایش داد. Sabir و همکاران (2014) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوکلسیم در انگور موجب زودرسی محصول، افزایش رشد، رشد برگی، افزایش غلظت کلروفیل و مقدار مواد غذایی برگ و میوه شد.

به لحاظ فیزیولوژیکی پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون غیرآلی در گیاهان است که نقش‌های کلیدی در بسیاری از جنبه‌های سوخت‌وسازی از قبیل فتوسنتز، انتقال پروتئین و قند، فعال‌سازی بیش از ۶۰ نوع آنزیم، تنظیم پتانسیل اسمزی، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و تشکیل آوند آبکش دارد (Mengel, 2007). پتاسیم به‌نام عنصر کیفیت در بین متخصصان تغذیه مشهور است و در گیاه نقش کاتالیزوری ایفا می‌کند، در واقع پتاسیم با فعال‌کردن آنزیم‌های که کاتالیزورهای ساخت نشاسته و پروتئین هستند سبب بهبود کیفیت می‌گردد (Al-Juthery *et al.*, 2021). این عنصر در بین عناصر پرمصرف نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در باردهی و کیفیت انگور و کشمش تولیدی دارد (Keller, 2015). در تحقیقی که بر روی زیتون انجام گرفت، کاربرد نانوکلات پتاسیم بر محتوای روغن، مقدار عناصر و اسیدهای چرب تأثیر مثبت نشان داد (Rohi Vishekaii *et al.*, 2022). به منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک و کود نانوکلات مخلوط همراه با کودهای شیمیایی بر رشد و عملکرد انگور یاقوتی، تأثیر این عوامل بررسی شد و نتایج نشان داد که کاربرد ترکیبی عوامل فوق بیشترین تأثیر را روی صفات انگور از جمله، تعداد حبه هر خوشه، تعداد خوشه هر گیاه، وزن خوشه، وزن حبه، مواد محلول کل داشت (Rasouli *et al.*, 2024). در آزمایش دیگری که تحت شرایط کشت‌بافت و تنش شوری بر روی انگور انجام شد، نتایج نشان داد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

کاربرد نانوذرات آهن و سیلیکات پتاسیم به تنهایی یا به صورت ترکیبی می‌تواند اثرات مخرب شوری بر صفات مورفولوژیکی را به طور قابل توجهی جبران کند و منجر به افزایش میانگین آن‌ها نسبت به شرایط کنترل شود (Mozafari *et al.*, 2018). مطالعه دیگری نیز، با هدف بررسی و مقایسه تأثیر محلول‌پاشی دو منبع پتاسیم با فرمول مختلف، یعنی نانوکلات پتاسیم و نیترات پتاسیم، بر عملکرد و محتوای روغن زیتون طی دو سال متوالی انجام شد. نتایج نشان داد که تیمار نانوکلات پتاسیم در غلظت اول می‌تواند از طریق بهبود محتوای معدنی برگ به جای کنترل درخت، بر ترکیب اسیدهای چرب تأثیر مثبت بگذارد. همچنین، عملکرد و صفات میوه تحت تیمار دوم نانوکلات پتاسیم، که بالاترین غلظت بود بهتر است و کیفیت روغن زیتون پس از محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم غلظت اولیه آن پایدارتر است (Rohi Vishekaii *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای که به منظور بررسی اثر سم‌پاشی نانوکلات آهن بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام تجاری بادام انجام شد، نشان داد که غلظت عناصر ریزمغذی در برگ در تمامی تیمارها به‌ویژه هنگام سم‌پاشی در دو مرحله نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. بیشترین درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی و عملکرد در اندام هوایی در رقم شکوفه و محلول‌پاشی کودی در دو مرحله و کمترین درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در شاهد در تمامی ارقام مورد آزمایش مشاهده شد (Mohammadi *et al.*, 2024). محلول‌پاشی نانو، کلات و فرم‌های آهن معمولی باعث افزایش رشد، وضعیت تغذیه‌ای، جنبه‌های باردهی و کیفیت میوه درختان پرتقال واشنگتن ناول (*Citrus sinensis* L.) شد. در آزمایشی با عنوان مذکور اثر سه شکل آهن نانو (Fe-NPs)، سولفات ($FeSO_4$) و کلات (Fe-chelated)- به‌صورت محلول‌پاشی بر روی درختان پرتقال مورد بررسی قرار گرفت. بالاترین مقادیر پارامترهای آزمایش شده زمانی گزارش شد که از بالاترین سطح نانوذرات آهن و بالاترین نرخ کلات آهن (EDTA) استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده در آزمایش نشان داد که سم‌پاشی درختان پرتقال واشنگتن ناول که در شرایط محیطی مشابه و شیوه‌های باغبانی در آزمایش فعلی با Fe-NPs (نانوفرم) و یا کلات آهن (EDTA) در ۰/۱ درصد به کار گرفته شده است، یک کاربرد مفید برای افزایش است (El-Gioushy *et al.*, 2021).

با وجود گزارش‌های فراوان درباره تأثیر نانوکودها بر محصولات مختلف، اطلاعات جامعی درباره تأثیر نانوکلات‌های پتاسیم بر ویژگی‌های کیفی انگور رقم سلطانا، به ویژه در ارتباط با موقعیت‌های مختلف برگ وجود ندارد. اگر چه تأثیر پتاسیم بر بهبود ویژگی‌های کیفی و فیزیولوژیکی محصولات مختلف از جمله انگور به‌خوبی اثبات شده است، اما استفاده از فرم نانوی این عنصر می‌تواند مزایای قابل توجهی مانند افزایش کارایی جذب، کاهش میزان مصرف و بهبود عملکرد تحت شرایط تنش داشته باشد. مطالعات محدودی به بررسی اثر نانوپتاسیم بر خصوصیات بیوشیمیایی انگور پرداخته‌اند، بنابراین این پژوهش با هدف مقایسه تأثیر نانوپتاسیم و همچنین ارائه الگوی کاربردی برای تعیین دقیق غلظت بهینه این نانوذره و موقعیت هدفمند محلول‌پاشی برگ انگور انجام شد. در نهایت با توجه به این‌که یکی از مهمترین موضوعات در تولید محصولات مهمی مانند انگور، افزایش مواد استخراج‌شده آن و نیز افزایش کیفیت محصول، به منظور تولید محصولاتی مانند کشمش یا انواع نوشیدنی است، بنابراین، تعیین مقدار مناسب کود مصرفی ضروری است و باید در مصرف کودهای شیمیایی دقت بیشتری شود این تحقیق با هدف بررسی اثر کاربرد برگی سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه انگور رقم سلطانی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به صورت چندمشاهده‌ای و با سه تکرار در یکی از باغات تجاری واقع در شهرستان ملکان (آذربایجان شرقی) با موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۶۱ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۷۳ دقیقه شمالی، در سال ۱۴۰۰ انجام شد که خصوصیات خاک در جدول ۱ آورده شده است. درختان انگور ۲۰ ساله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

جدول ۱- آزمایش خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک باغ

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته کل اشباع (pH)	کربن آلی (٪)	ازت کل (٪)	فسفر قابل جذب (٪)	پتاسیم قابل جذب (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
۳۰-۰	۰/۹۹	۷/۸	۲/۲۶	۰/۲۳	۵۲/۶	۴۳۰	۴۴	۳۸	۱۸
۶۰-۳۰	۱/۲۱	۸/۰	۰/۸۲	۰/۰۸	۳۵/۸	۴۱۰	۴۰	۴۰	۲۰

(*Vitis vinifera* L.) رقم سلطانی ماده آزمایشی مورد استفاده در این پژوهش بود. تیمار آزمایش شامل محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم، خریداری‌شده از شرکت بایوزر (BIOZAR, Iran)، در سه سطح (یک در هزار، دو در هزار و چهار در هزار)، به همراه شاهد (بدون محلول‌پاشی) بود. نمونه‌برداری برگ روی درخت با سه مشاهده (برگ پایین، برگ وسط و برگ بالا) به منظور تعیین اثرات تیمار آزمایشی بر ویژگی‌های مورفولوزیک و فیزیولوژیگ گیاه انجام گرفت. نانوکلات پتاسیم دارای ۲۷ درصد پتاسیم کلات‌شده و به‌صورت پودری و به کلی محلول در آب و قابل استفاده برای محلول‌پاشی استفاده شد. محلول‌پاشی تیمارهای یادشده شامل یک مرحله پیش از گلدهی، دو هفته پس از تشکیل میوه و یک ماه پس از مرحله دوم با استفاده از یک سم‌پاش ۱۰ لیتری روی تاک‌ها صورت گرفت. در طول آزمایش تاک‌ها به روش سنتی (غرقابی جوی و پشته) هر دو هفته یک‌بار آبیاری شدند. پس از برداشت میوه‌ها جهت بررسی برخی صفات کیفی که در زیر اشاره شده است، به آزمایشگاه منتقل شدند.

وزن، طول حبه، سفتی و pH میوه: برای اندازه‌گیری وزن و طول حبه‌ها، از هر بوته پنج خوشه تصادفی انتخاب شد. وزن ۱۰ حبه از هر خوشه با ترازوی دیجیتال (دقت ۰/۰۱ گرم (Sartorius, Basic, Germany) و طول آنها با کولیس اندازه‌گیری و ثبت گردید. **جهت** سنجش سفتی میوه‌ها، پنج خوشه تصادفی از هر بوته انتخاب و سفتی گوشت میوه با دستگاه سفتی‌سنج دستی پروب ۶mm (Lutron FR-5120) بر اساس حداکثر نیروی نفوذ در قسمت میانی حبه‌ها اندازه‌گیری شد (Al-Qurashi *et al.*, 2023). برای اندازه‌گیری pH آب میوه، از هر تیمار سه میوه نمونه‌برداری شد. پس از استخراج دستی آب میوه، pH بلافاصله با pHمتر Corning (مدل ۱۴۰) اندازه‌گیری شد.

قند محلول کل: میزان قندهای محلول برگ‌ها با روش Kochert (۱۹۸۷) سنجش شد. پس از استخراج در الکل ۷۰٪ و واکنش با فنل- اسید سولفوریک، جذب نوری در ۴۸۵ نانومتر توسط اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری و غلظت قندها بر اساس منحنی استاندارد گلوکز (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) محاسبه گردید.

ویتامین C و پروتئین میوه: میزان ویتامین C پس از هموژنایزاسیون با متافسفریک اسید ۱٪ و واکنش با دی‌کلرواینداوفنل در ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Fenech *et al.*, 2019). پروتئین کل نیز با روش Bradford (۱۹۷۶) و استاندارد BSA در ۵۹۵ نانومتر سنجش گردید.

فلاونوئید و فنل کل میوه: میزان فلاونوئیدهای کل با روش آلومینیوم کلراید در ۴۱۵ نانومتر (برحسب کوئرسیتین) (Meda *et al.*, 2005) و ترکیبات فنلی با روش فولین-سیوکالتیو در ۷۲۰ نانومتر (برحسب گالیک اسید) اندازه‌گیری شدند (Chang *et al.*, 2002).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری کلروفیل کل و کاروتنوئید از روش Arnon (۱۹۶۷) استفاده شد. با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آورده شد. در این رابطه (V) حجم نهایی عصاره، (A) جذب نور در طول‌موج‌های مشخص، (W) وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

$$\text{Total Chlorophyll} = [20.2(A645) + 8.02(A663)] \times {}^{V}/_{(w \times 100)}$$

$$Carotenoid = [7.6(A480) - 1.49(A510)] \times {}^{V}/_{(w \times 1000)}$$

اندازه‌گیری عناصر نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

(K): برای اندازه‌گیری نیتروژن، نمونه‌های برگ با اسید سولفوریک و کاتالیزور هضم، سپس تقطیر و با HCl 0.5N تیتر شدند و نیتروژن با فرمول زیر محاسبه گردید (Nelson and Sommers, 1973).

$$\text{نیتروژن (درصد)} = ((0.0014 \times V)/P) \times 100$$

P: وزن نمونه بر حسب گرم، V: حجم اسید کلریدریک مصرفی در مرحله تیتراسیون بر حسب میلی‌لیتر

برای تعیین مقدار فسفر برگ، از روش کالریمتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و غلظت پتاسیم برگ از روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فیلم فوتومتری انجام شد (امامی، ۱۳۷۵).

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار GenStat16 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم به استثنای وزن حبه بر روی تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بین نمونه‌های تهیه‌شده از سه موقعیت مختلف گیاه و میوه تفاوت معنی‌داری از لحاظ تمامی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری به استثنای کلروفیل کل مشاهده شد که در این میان درصد پروتئین در سطح احتمال ۵ درصد و سایر ویژگی‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین اثرات محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم در سه نمونه برگی تهیه‌شده از سه موقعیت مختلف (به استثنای وزن حبه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که به منظور کسب اطلاعات بیشتر و تحلیل دقیق‌تر داده‌ها، اثر محلول‌پاشی بر سه مشاهده برگی در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین ضریب تغییرات به میزان ۱۴/۶ درصد به سفتی دانه و کمترین آن با ۰/۳ درصد به طور مشترک به فلاونوئید و ویتامین C میوه اختصاص یافت که دقت قابل قبول اندازه‌گیری‌ها را نشان می‌دهد (جدول ۲).

طول حبه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد غلظت‌های مختلف مورد استفاده تغییرات چشم‌گیری در طول حبه ایجاد کردند، به این صورت که محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم سبب افزایش طول حبه در نمونه‌های انگور سلطانی گردید. بیشترین طول حبه به میزان ۱۳/۷ میلی‌متر مربوط به تیمار غلظت چهار در هزار نانوکلات پتاسیم در موقعیت برگ بالا و کمترین طول حبه با ۱۰/۲۵ میلی‌متر متعلق به تیمار شاهد برگ پایین بود (شکل ۱).

سفتی میوه: مقایسه میانگین داده‌ها، نشان داد که حداکثر میزان سفتی میوه مربوط به کاربرد محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم با غلظت چهار در هزار و در محلول‌پاشی برگ پایین با ۴/۶۱ نیوتن به‌دست آمد و کمترین میزان آن با ۲/۷۲ نیوتن متعلق به تیمار شاهد (برگ بالا) بود (شکل ۲).

فنل کل: نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم در غلظت‌های مختلف روند صعودی در میزان فنل کل میوه‌ها نشان داد، به‌طوریکه حداکثر مقدار فنل کل به میزان ۶۸/۰۲ میلی‌گرم بر گرم در تیمار چهار در هزار و در محلول‌پاشی برگ وسط مشاهده شد، این افزایش نسبت به تیمار شاهد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (شکل ۳).

فلاونوئید کل: بررسی داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم در برگ‌های مختلف موجب افزایش میزان فلاونوئید کل میوه شد. بیشترین میزان فلاونوئید کل با ۵۸/۱۳ میلی‌گرم بر گرم در برگ بالایی و با کاربرد غلظت چهار در هزار نانوکلات پتاسیم به‌دست آمد. کمترین مقدار این صفت به میزان ۱۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم در تیمار شاهد (بدون محلول-پاشی) برگ وسط مشاهده شد (شکل ۴).

ویتامین C: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانوکلات پتاسیم باعث افزایش ویتامین ث میوه گردید، به‌طوریکه بیشترین میزان ویتامین ث با ۶۹/۸۶ میلی‌گرم در لیتر با کاربرد غلظت ۴ در هزار محلول-پاشی نانوکلات پتاسیم (در برگ بالا) حاصل شد و کمترین میزان آن به میزان ۶۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) برگ بالا به‌دست آمد (شکل ۵).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محل برگ و سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک انگور رقم سلطانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن حبه	سفتی	طول حبه	فنل کل	فلاونوئید	ویتامین C	قند محلول کل
بلوک	۲	۰/۰۵ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۲ ns
محلول‌پاشی	۲	ns۰/۳۲	۱۳/۹۷**	۱/۷۶**	۱۷۰/۵۶**	۱۸۷۴/۴۱۳**	۵۹/۳۳۴**	۱/۷۱**
خطا	۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۱۰	۰/۰۲۲	۰/۰۷
نمونه	۲	۱/۶۴**	۳/۴۸**	۱۱/۵۷**	۵/۶۰**	۵۶/۳۳۷**	۰/۳۴۷**	۱/۳۱**
نمونه× محلول‌پاشی	۶	۰/۰۸ ns	۰/۲۸**	۱/۱۲**	۳۳/۵۲**	۳۹۸/۶۱۸**	۱۰/۶۰۶**	۲/۵۹**
خطای نمونه‌برداری	۱۶	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۳۰	۰/۰۵
ضریب تغیرات (٪)		۱۴/۶	۳/۲	۱/۶	۰/۷	۰/۳	۰/۳	۶/۳

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

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		pH آب میوه	کلروفیل	کاروتنوئید	پروتئین	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
بلوک	۲	۰/۰۱۰۰ ns	۰/۵ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۵۳ ns	۰/۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۹ ns
محلول‌پاشی	۲	۰/۶۳۲۳**	۲۳۳/۵**	۰/۱۲۹**	۰/۲۰۵**	۸/۱۱۵۵**	۰/۱۳۸۸**	۳/۴۱۳۵**
خطا	۶	۰/۰۰۰۵	۳/۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۳
نمونه	۲	۰/۲۰۰۴**	۲/۳ ns	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۴*	۰/۰۴۰۴**	۰/۰۰۶۹**	۰/۰۶۹۹**
نمونه× محلول‌پاشی	۶	۰/۳۱۹۹**	۵۹/۷**	۰/۰۱۷**	۰/۵۳۴**	۰/۱۹۳۸**	۰/۰۰۷۰**	۰/۰۸۹۲**
خطای نمونه‌برداری	۱۶	۰/۰۰۰۴	۳/۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۴
ضریب تغیرات (٪)		۰/۶	۷/۲	۶/۵	۳/۴	۱/۴	۵/۴	۲/۳

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

قند محلول کل: مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر افزایش قند محلول کل در اثر غلظت‌های مختلف نانوکلات پتاسیم بود و به‌طوریکه بیشترین قند محلول کل به میزان ۲۸/۲۶ درصد با کاربرد محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم با غلظت چهار در هزار و در برگ پایین بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد برگ بالا با ۳۶٪ درصد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (شکل ۶).

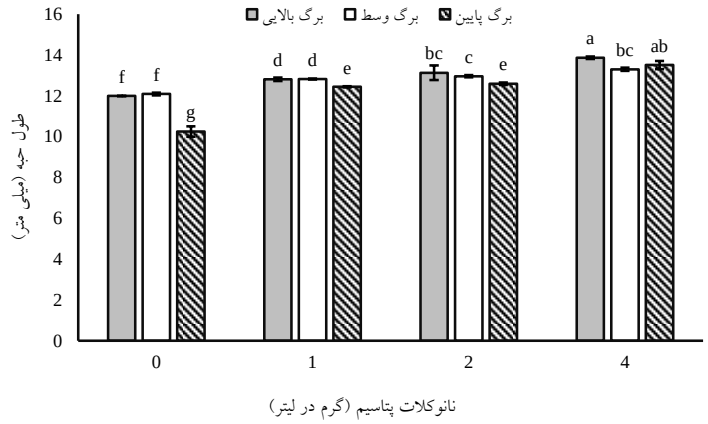
اسیدیته میوه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که غلظت‌های مختلف مورد استفاده موجب کاهش اسیدیته میوه انگور شد. به‌طوریکه بیشترین میزان اسیدیته آب میوه با ۳/۳۹ متعلق به تیمار شاهد برگ بالا (فاقد محلول‌پاشی) و کمترین مقدار آن با ۱/۶۶ با تیمار چهار در هزار نانوکلات پتاسیم در برگ پایین به‌دست آمد (شکل ۷).

کلروفیل کل: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر متقابل محلول‌پاشی و موقعیت برگ بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار بود. بالاترین میزان کلروفیل کل به میزان ۴/۵۶ میلی‌گرم بر گرم در تیمار چهار در هزار و در برگ وسط مشاهده شد که این مقدار نسبت به تیمار شاهد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (شکل ۸).

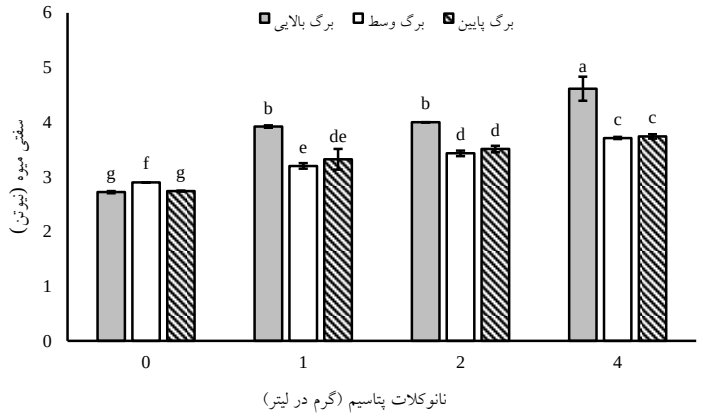
کاروتنوئید کل: براساس نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر بیشترین محتوای کاروتنوئید به میزان ۰/۸۰ میلی‌گرم بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]



شکل ۱- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر طول میوه انگور رقم سلطانی



شکل ۲- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر سفتی میوه انگور رقم سلطانی

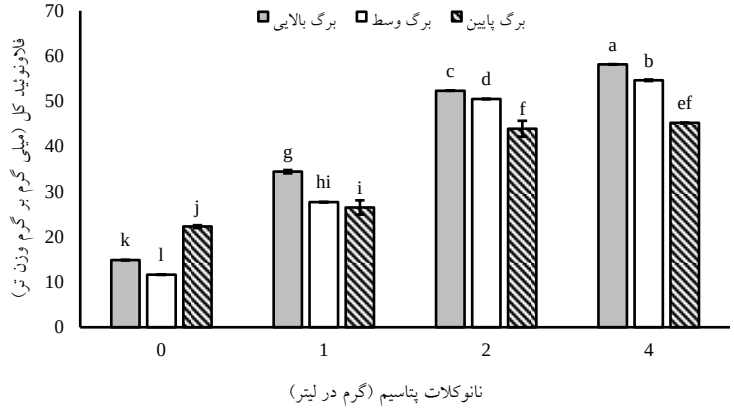
شکل ۳- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر فنل کل میوه انگور رقم سلطانی

گرم با کاربرد غلظت چهار در هزار نانوکلات پتاسیم و در برگ وسط بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (شکل ۹).

پروتئین میوه: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم موجب افزایش میزان پروتئین میوه در انگور سلطانی گردید. به‌طوریکه بیشترین

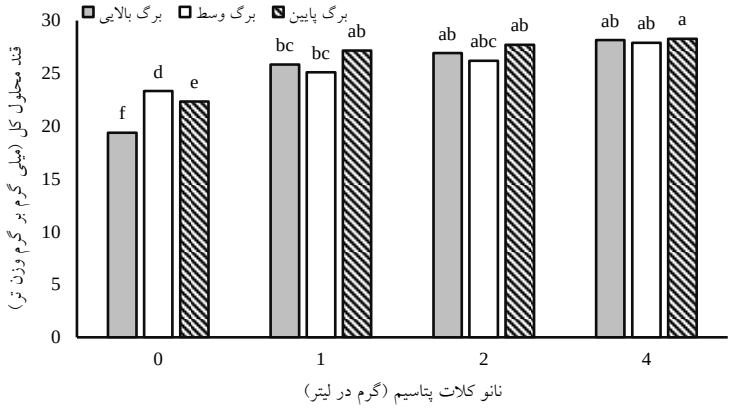
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]



شکل ۴- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر فلاونوئید کل میوه انگور رقم سلطانی

شکل ۵- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر ویتامین C میوه انگور رقم سلطانی



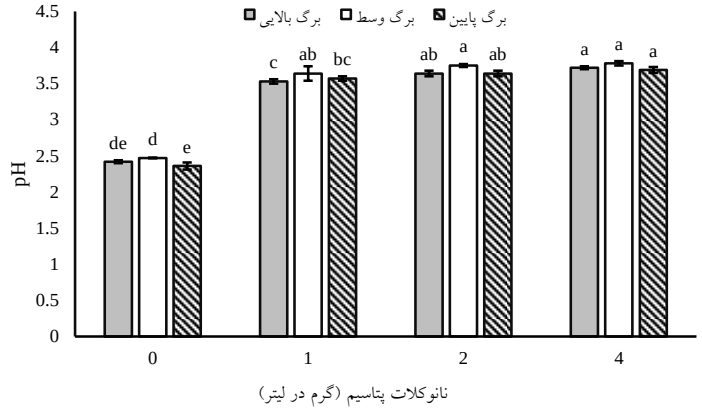
شکل ۶- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر قند محلول برگ انگور رقم سلطانی

میزان پروتئین میوه در غلظت چهار در هزار برگ بالا با ۱/۹۲ درصد مشاهده شد (شکل ۱۰).

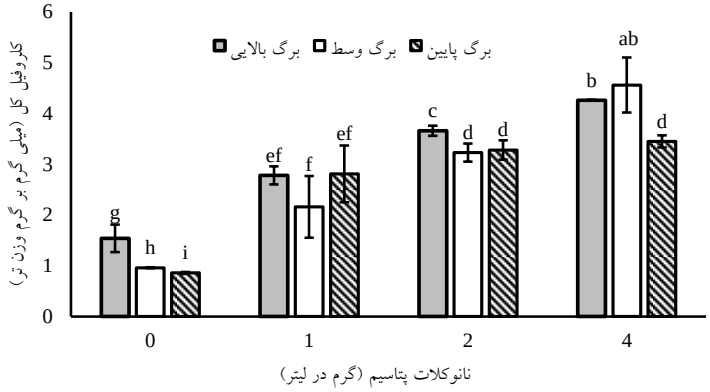
نیتروژن کل: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم روند صعودی در میزان نیتروژن میوه در انگور سلطانی نشان داد. به‌طوریکه این افزایش در هر سه برگ پائینی، میانی و فوقانی به صورت خطی بود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

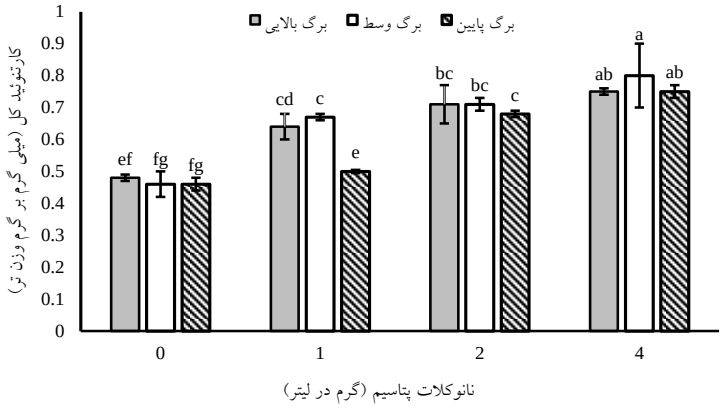
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]



شکل ۷- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر اسیدیته میوه انگور رقم سلطانی



شکل ۸- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر کلروفیل کل برگ انگور رقم سلطانی

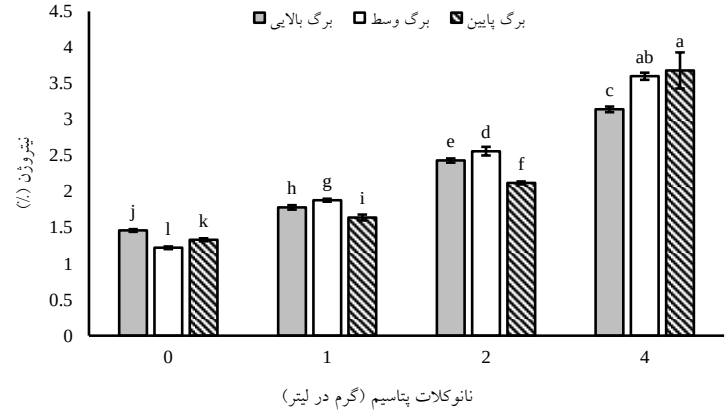


شکل ۹- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر کاروتنوئید کل برگ انگور رقم سلطانی

و به طور میانگین افزایش هر گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم در محلول‌پاشی به طور میانگین ۰/۵۶ درصد غلظت نیتروژن ($y = 555.08x + 1.28$; $R^2 = 0.997$) در میوه انگور افزایش یافت. این افزایش به ازای هر گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم برای برگ‌های پائینی بیشتر از برگ‌های میانی و برای برگ‌های میانی نیز بیشتر از برگ‌های فوقانی بود. بیشترین میزان نیتروژن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

شکل ۱۰- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر پروتئین میوه انگور رقم سلطانی



شکل ۱۱- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر نیتروژن برگ انگور رقم سلطانی

میوه با ۳/۶۸ درصد مربوط به غلظت چهار در هزار و در برگ پایین مشاهده شد و کمترین مقدار این عنصر با ۱/۲۲ درصد در تیمار شاهد برگ وسط بدست آمد (شکل ۱۱).

فسفر کل: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم روند صعودی در میزان فسفر میوه در انگور سلطانی داشت. به طوریکه با افزایش غلظت هر گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم در محلول‌پاشی به طور میانگین ۰/۰۶۸ درصد غلظت فسفر ($y = 68.286x + 0.5169$; $R^2 = 0.882$) در میوه انگور افزایش یافت. مطابق این نتایج، بیشترین افزایش در برگ‌های فوقانی و کمترین آن در برگ‌های میانی بود. بیشترین میزان فسفر میوه با ۰/۹۷ درصد مربوط به غلظت چهار در هزار و در برگ پایین مشاهده شد و کمترین مقدار این عنصر با ۰/۳۶ درصد در تیمار شاهد برگ پایین بدست آمد (شکل ۱۲).

پتاسیم: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم موجب افزایش خطی میزان پتاسیم میوه در انگور سلطانی شد و این افزایش در هر سه موقعیت برگی مشاهده شد. به‌طوریکه با افزایش غلظت هر گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم در محلول‌پاشی به طور میانگین ۰/۳۵ درصد غلظت پتاسیم ($y = 353.81x + 0.99$; $R^2 = 0.963$) در میوه انگور افزایش یافت. این افزایش در برگ‌های پائینی، میانی و فوقانی به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۴ و ۰/۳۲ درصد به ازای هر گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم بود. علی‌رغم آن، بیشترین میزان پتاسیم میوه با ۲/۷۶ درصد مربوط به غلظت چهار در هزار و در برگ پایین مشاهده شد و کمترین مقدار این عنصر با ۱/۰۴ درصد در تیمار شاهد برگ بالا بدست آمد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

شکل ۱۲- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر فسفر برگ انگور رقم سلطانی

شکل ۱۳- تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و موقعیت برگ انگور بر پتاسیم برگ انگور رقم سلطانی

(شکل ۱۳).

بحث

بحث مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد نانوکلات پتاسیم (غلظت چهار در هزار) موجب بهبود همزمان صفات کمی و کیفی انگور سلطانی گردید، به‌طوری‌که بیشترین وزن حبه در برگ پایین، بیشترین طول حبه (۱۳/۸۷ میلی‌متر) در برگ بالا و بیشترین سفتی مجدداً در محلول‌پاشی برگ پایین مشاهده شد. این نتایج حاکی از همبستگی قوی بین صفات مورد بررسی است که نشان‌دهنده نقش چندجانبه پتاسیم در فیزیولوژی گیاه است. از دیدگاه مکانیسمی، این بهبودها احتمالاً ناشی از افزایش کارایی فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها می‌باشد (Rawat *et al.*, 2022; Mokhtarzadeh and Shahsavar, 2020; Jia *et al.*, 2020). تفاوت مشاهده شده در پاسخ برگ‌های پایین و بالا ممکن است به تفاوت در عملکرد فیزیولوژیک این برگ‌ها (ذخیره‌سازی در مقابل تولید مواد فتوسنتزی) مرتبط باشد (Keller, 2015). این یافته‌ها اهمیت استفاده هدفمند از نانوکلات‌ها را در مدیریت باغات انگور برجسته می‌سازد. در مطالعه Shalan و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد سولفات پتاسیم در انگور کریمسون موجب افزایش وزن حبه‌ها شد که نتایج پژوهش حاضر با نتایج گزارش شده توسط پژوهشگران مطابقت دارد.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاربرد نانوکلات پتاسیم به‌ویژه با غلظت چهار در هزار، موجب افزایش معنی‌دار در سطح محتوای فنل کل میوه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد گردید. پتاسیم به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های کلیدی مانند (PAL) در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

مسیر فنیل‌آلانین آمونیالیاز فنیل پروپانوئید عمل می‌کند که پیش‌ساز اصلی ترکیبات فنلی است (Sharma *et al.*, 2019). مکانیسم احتمالی این افزایش می‌تواند شامل فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز تحت تأثیر پتاسیم باشد (Gao *et al.*, 2018)، که پراکسیداز و برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش مستقیم در فعال‌سازی مسیر فنیل‌پروپانوئید دارند و منجر به سنتز ترکیبات فنلی (فنولیک اسیدها، فلاونوئیدها، تانن‌ها و لیگنین) می‌شوند. کلید اصلی این مسیر آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز است که القای آن اغلب همراه با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان رخ می‌دهد، زیرا سیگنال ROS باعث بیان ژن می‌شود (Sharma *et al.*, 2019) و افزایش تولید پیش‌سازهای فنلی از طریق تقویت فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها (Rengel *et al.*, 2020) و خاصیت نانویی ذرات که جذب و انتقال پتاسیم را در بافت‌های گیاهی بهبود می‌بخشد (Nanehkaran *et al.*, 2024). تفاوت مشاهده‌شده در کارایی برگ وسط ممکن است به موقعیت فیزیولوژیک برگ‌های وسط در تولید و انتقال متابولیت‌های ثانویه، توزیع بهینه هورمون‌ها و آنزیم‌های مرتبط در این ناحیه باشد (Watanabe *et al.*, 2013). ترکیبات فنولیک به عنوان فاکتورهای کلیدی در تعیین کیفیت انگور محسوب می‌شوند، چرا که این متابولیت‌های ثانویه به‌طور مستقیم بر پارامترهای حسی میوه از جمله پروفایل عطری، ویژگی‌های طعم‌دهنده، شدت تلخی و حس گسی تأثیرگذار هستند (Gao *et al.*, 2024). غلظت فنل کل در بذر و حبه‌های انگور تحت تأثیر عوامل ژنوتیپی و محیطی قرار می‌گیرد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی رقم، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، شرایط اقلیمی، موقعیت جغرافیایی، مدیریت زراعی، شیوع پاتوژن‌ها، به ویژه آلودگی‌های قارچی اشاره کرد (Garcia-Cabezon *et al.*, 2020).

نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد نانوکلات پتاسیم به ویژه با غلظت چهار در هزار در برگ‌های بالایی، موجب افزایش معنی‌دار محتوای فلاونوئید کل میوه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد گردید. این یافته با مطالعات متعددی که نشان داده‌اند پتاسیم نقش کلیدی در مسیرهای بیوسنتز فلاونوئیدها دارد، همسو است (Wei *et al.*, 2024). پتاسیم به عنوان فعال‌کننده آنزیم‌های کلیدی مانند کالکون سنتاز (CHS) و فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) در مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها عمل می‌کند (Richter-Laskowska *et al.*, 2023). مکانیسم‌های احتمالی این افزایش شامل افزایش بیان ژن‌های کلیدی مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها تحت تأثیر پتاسیم (Petrussa *et al.*, 2013)، بهبود کارایی فتوسنتز و تولید پیش‌سازهای کربنی برای بیوسنتز فلاونوئیدها (Dao *et al.*, 2011)، خاصیت نانویی ذرات که جذب و انتقال پتاسیم را در برگ‌های بالایی بهبود می‌بخشد (Hasan *et al.*, 2022). تفاوت مشاهده‌شده در کارایی برگ‌های پایینی می‌تواند به این دلایل باشد که فعالیت متابولیکی بالاتر برگ‌های پایینی در تولید ترکیبات ثانویه، قرار گرفتن در معرض نور بیشتر که بیان ژن‌های مرتبط با فلاونوئیدها (Zhang *et al.*, 2021) و توزیع بهینه هورمون‌های گیاهی در برگ‌های بالایی (Davies, 2010) را تحریک می‌کند و یا اینکه مصرف نانوکلات پتاسیم منجر به تحریک شاخص‌های رشدی گیاه به ویژه در اندام‌های بالایی شده و این امر موجب کاهش غلظت عناصر غذایی مانند پتاسیم در این اندام‌ها شده است (Marschner, 1995).

یافته‌های اخیر نشان داده‌اند که محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم می‌تواند به طور مؤثری میزان ویتامین ث در میوه‌ها را افزایش دهد، به طوریکه غلظت ۴ در هزار محلول‌پاشی، بیشترین تأثیر را داشته است. این اثر احتمالاً ناشی از نقش چندگانه پتاسیم در متابولیسم گیاهی است. پتاسیم می‌تواند با تأثیر بر آنزیم‌های کلیدی در مسیر سنتز اسید آسکوربیک (ویتامین ث) و افزایش بیان ژن‌های مرتبط با آن‌ها، تولید این ویتامین را افزایش دهد (Lester *et al.*, 2005). علاوه‌براین، پتاسیم با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، می‌تواند از آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو که منجر به تخریب ویتامین ث می‌شوند، جلوگیری کند (Hu *et al.*, 2016). استفاده از نانوکلات پتاسیم نیز به دلیل اندازه کوچک ذرات، باعث افزایش جذب و انتقال پتاسیم به سلول‌های هدف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

می‌شود (Nair *et al.*, 2010). در نتیجه، محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم، با فراهم‌کردن پتاسیم بیشتر و با کارایی بالاتر، می‌تواند به بهبود فعالیت آنزیم‌های متابولیکی، افزایش سنتز ویتامین ث و کاهش استرس اکسیداتیو کمک کرده و در نهایت، میزان ویتامین ث در میوه‌ها را افزایش دهد. محتوای ویتامین ث در میوه انگور رقم سلطانی تحت تأثیر کاربرد سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم روند صعودی نشان داد، که این افزایش را می‌توان به نقش پتاسیم در جذب اسمزی آب توسط ریشه‌ها، کنترل تعرق برگ و همچنین تأثیر مهم آن در تولید و انتقال قند از برگ به میوه‌ها نسبت داد، چرا که این عوامل در نهایت بر افزایش ویتامین ث میوه‌ها مؤثر هستند (Mubashir *et al.*, 2023).

پتاسیم، به‌عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان، نقش کلیدی در فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، تنظیم فشار اسمزی سلولی و انتقال مواد غذایی دارد (Rengel *et al.*, 2022). مکانیسم اثر نانوکلات پتاسیم بر سنتز قندها را می‌توان به بهبود فعالیت فتوسنتزی، تنظیم انتقال مواد فتوسنتزی و افزایش تنظیم اسمزی در سلول نسبت داد. پتاسیم، با بهبود تبادل گازها و جذب CO_2 از طریق تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌های گیاهی، سنتز قندها را افزایش می‌دهد (Heidari *et al.*, 2023). همچنین انتقال کارآمدتر محصولات فتوسنتزی از برگ‌های بالایی به برگ‌های پایینی، منجر به تجمع بیشتر قندها در این بخش شد (Wang *et al.*, 2013). علاوه‌براین، حضور پتاسیم در سلول‌ها باعث افزایش غلظت مواد محلول و در نتیجه افزایش تولید و ذخیره قندهای محلول کل می‌شود (Rengel *et al.*, 2022).

کاهش اسیدیته در این پژوهش می‌تواند ناشی از تأثیر پتاسیم بر تغییرات فیزیولوژیکی در میوه و بهینه‌سازی فرآیندهای متابولیک باشد که منجر به کاهش تجمع یون‌های اسیدی در سلول‌های میوه می‌شود. نقش پتاسیم در کاهش اسیدیته میوه‌ها را می‌توان به مکانیسم‌های متعددی نسبت داد. پتاسیم یکی از عناصر کلیدی در تنظیم pH سلول‌های گیاهی است و از طریق خنثی‌کردن یون‌های اسیدی (مانند H^+) در سلول‌ها منجر به کاهش اسیدیته می‌شود (Rengel *et al.*, 2022). علاوه‌براین، افزایش غلظت پتاسیم می‌تواند انتقال مواد فتوسنتزی را به سلول‌های میوه تسهیل کند و اولویت برای سنتز ترکیبات قندی را افزایش دهد. این تغییرات در ترکیبات شیمیایی میوه، مانند افزایش محتوای قندهای محلول، معمولاً با کاهش اسیدیته همراه هستند (Wang *et al.*, 2013). همچنین، پتاسیم با تنظیم مکانیسم‌های اسمزی و تعادل یونی، نقش مهمی در بهبود رشد سلول‌ها و کاهش تجمع سایر ترکیبات اسیدی مانند مالیک و تارتاریک اسید ایفا می‌کند (Shin, 2014).

اثرات کودها بر محتوای پروتئین از طریق سنتز و یا هیدرولیز آن در سطوح و گیاهان مختلف، متفاوت بوده و در اکثر گیاهان معمولاً به‌صورت کاهش تجمع پروتئین کل (از طریق تخریب و یا کاهش سنتز پروتئین‌ها) نمود پیدا می‌کند (Gu *et al.*, 2021). هنگام سنتز پروتئین‌ها مسیرهای سیگنالی متعددی منجر به بیان ژن‌هایی می‌شود که به نوبه خود امکان فعال‌سازی پروتئین‌هایی را فراهم می‌آورد که این مورد تحت تأثیر فنوتیپ گیاه قرار می‌گیرد و در گیاهان مختلف نتایج متفاوتی نشان می‌دهد (Hegazi *et al.*, 2011). در تحقیق حاضر کاربرد برگی نانوکلات پتاسیم موجب افزایش مقدار پروتئین کل میوه شد که افزایش میزان پروتئین در اثر نانوکلات پتاسیم احتمالاً به علت افزایش سنتز پروتئین‌های جدید ناشی از بیان ژن‌های مقاوم به شرایط محیطی و یا کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین است (Hegazi *et al.*, 2011).

مقدار عناصر غذایی میوه و برگ (نیتروزن، فسفر و پتاسیم) نقش به‌سزایی در تعیین کیفیت میوه و ماده خشک آن دارند عوامل ژنتیکی و عملیات باغی ازجمله کوددهی و عامل‌های اکولوژیک (دما، نور، رطوبت، خاک و غیره) تأثیر زیادی بر محتوای عناصر برگ و میوه دارند (Dar *et al.*, 2015). کاربرد برگی نانوکلات پتاسیم موجب افزایش غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر میوه‌ها شد. این نتیجه در پژوهش‌های سایرین نیز گزارش شده است (مینازاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ صفری و همکاران، ۱۳۹۹). شاید دلیل اصلی آن کمبود عنصر پتاسیم در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

گیاه است که در مناطق مختلف به این موضوع اشاره شده است (بایبوردی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مطلبی‌فر، ۱۴۰۱) و جبران کمبود آن به‌دلیل نقش در تنظیم اسمزی و تسهیل انتقال فراورده‌های حاصل از فتوسنتز باعث بهبود انتقال و جاگیری عناصر شده و در نتیجه غلظت عناصر در میوه افزایش می‌یابد (Keller, 2010). اثر افزایشی مقدار عناصر میوه تحت کاربرد سولفات پتاسیم توسط زیودار و همکاران (۱۳۹۴) در زیتون (*Olea europaea* L.)، در میوه انگور (*Vitis vinifera* L.) (Sarikhani *et al*., 2014) گزارش شده است که نتایج تحقیق حاضر با گزارشات موجود همخوانی دارد.

نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم (۴ در هزار) بهبود قابل‌توجهی در ویژگی‌های کمی و کیفی میوه و غلظت عناصر غذایی در انگور سلطانی ایجاد کرد. این بهبودها ناشی از نقش پتاسیم در فعال‌سازی مسیرهای بیوشیمیایی، بهبود فتوسنتز و کیفیت میوه و نیز خاصیت نانویی آن در افزایش جذب و انتقال مواد مغذی بود. مطابق نتایج بدست آمده می‌توان از محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم در مواردی که جذب پتاسیم به دلیل تنش‌های محیطی (خشکی، سرما و گرما) از طریق ریشه با مشکل مواجه است به عنوان روش کمکی در بهبود شرایط تغذیه‌ای و کیفی محصول انگور استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

منابع

امامی، عاکفه (۱۳۷۵). روش¬های تجزیه گیاه. جلد اول. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

بایبوردی، احمد، حمید، رهنمون، و بهمن، پاسبان اسلام (۱۳۹۴). دستاوردهای پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی. انتشارات پریور.

زیودار، ارزانی، کاظم، سوری، محمد کاظم، معلمی، و سیدنژاد، سید منصور (۱۳۹۴). بررسی اثر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر برخی شاخص‌های کمی و کیفی میوه و روغن زیتون (*Olea europaea* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز. *تولیدات گیاهی، ۳۸*(۳)، ۱۳-۲۶.

صفری، آسیه، اکرم، فاطمی، محسن، سعیدی، و زهرا، کلاه‌چی (۱۳۹۹). تأثیر مدیریت کودی و تنش خشکی بر وضعیت تغذیه‌ای انگور بیدانه قرمز در شرایط گلخانه‌ای. *مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۰*(۱)، ۱۱۹-۱۳۶.

مطلبی‌فرد، رحیم (۱۴۰۱). ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغات انگور استان همدان با استفاده از روش تشخیص چندگانه (CND). *نشریه آب و خاک، ۳۶*(۳)، ۳۷۵-۳۶۷.

مینازاده، راضیه، کریمی، روح‌الله، و محمدپرست، بهروز (۱۳۹۷) اثر تغذیه برگی سولفات پتاسیم بر شاخص‌های مورفو- فیزیولوژیکی انگور تحت تنش شوری. *علوم زیستی گیاهی، ۱۰*(۳)، ۸۳-۱۰۶.

Al-Juthery, H. W., Lahmod, N. R., & Al-Taee, R. A. (2021). Intelligent, nano-fertilizers: A new technology for improvement nutrient use efficiency (article review). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/735/1/012086

Al-Qurashi, A. D., Awad, M. A., & Ali, M. A. (2023). Exogenous ascorbic acid and procyanidin application affect quality of sensation mangoes during ripening. *Journal of Animal and Plant Sciences, 33*(3.)

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal, 23*, 112-121.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis, 10*, 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

Cui, J, & Tcherkez, G. (2021). Potassium dependency of enzymes in plant primary metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry, 166*, 522-530. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.017

Dao, T. T. H., Linthorst, H. J. M., & Verpoorte, R. (2011). Chalcone synthase and its functions in plant resistance. *Phytochemistry Reviews, 10*, 397-412. https://doi.org/10.1007/s11101-011-9211-7

Dar, M. A., Wani, J. A., Raina, S. K., Bhat, M. Y., & Malik, M. A. (2015). Relationship of leaf nutrient content with fruit yield and quality of pear. *Journal of Environmental Biology, 36*(3), 649.

Davies, P. J. (2010). Regulatory factors in hormone action: Level, location and signal transduction. In: Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action. (ed. Davies, P. J.) Pp. 16-35. Dordrecht: Springer, Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_2

El-Gioushy, S. F., Ding, Z., Bahloul, A. M., Gawish, M. S., Abou El Ghit, H. M., Abdelaziz, A. M., ... & Zewail, R. M. (2021). Foliar application of nano, chelated, and conventional iron forms enhanced growth, nutritional status, fruiting aspects, and fruit quality of Washington navel orange trees (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Plants, 10*(12), 2577.

El-Said, R., El-Shazly, S., El-Gazzar, A., Shaaban, E., & Saleh, M. (2019). Efficiency of nano-zinc foliar spray on growth, yield and fruit quality of flame seedless grape. *Journal of Applied Sciences, 19*, 612-630.

FAOStat. (2023). gttp://Fa.stat.Fau.org/site/626/default.aspt ancor

Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science, 9*, 2006. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006

Gao, F., Guan, L., Zeng, G., Hao, X., Li, H., & Wang, H. (2024). Preliminary characterization of chemical and sensory attributes for grapes and wines of different cultivars from the Weibei Plateau region in China. *Food Chemistry, 10*, 21, 101091. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101091

Gao, X., Zhang, S., Zhao, X., & Wu, Q. (2018). Potassium-induced plant resistance against soybean cyst nematode via root exudation of phenolic acids and plant pathogen-related genes. *PLoS One, 13*(7), e0200903.

Garcia-Cabezon, C., Gobbi Teixeira, G., Dias, L. G., Salvo-Comino, C., Garcia-Hernandez, C., Rodriguez-Mendez, M. L., & Martin-Pedrosa, F. (2020). Analysis of phenolic content in grape seeds and skins by means of a bio-electronic tongue. *Sensors, 20*(15), 4176. https://doi.org/10.3390/s20154176

Gu, X., Liu, Y., Li, N., Liu, Y., Zhao, D., Wei, B., & Wen, X. (2021). Effects of the foliar application of potassium fertilizer on the grain protein and dough quality of wheat. *Agronomy, 11*(9), 1749. https://doi.org/10.3390/agronomy11091749

Hasan, B. K., Leiby, H. R., & Al Ghasheem, N. (2022). Effects of nano-chelated micronutrients and seaweed on nutrients uptake and chemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Caspian Journal of Environmental Sciences, 20*(5), 985-989. https://doi.org/10.22124/CJES.2022.6052

Hegazi, E. S., Mohamed, S. M., EL Sonbaty, M. R., Abd El Naby, S. K. M., & El Sharony, T. F. (2011). Effect of potassium nitrate on vegetative growth, nutritional status, yield and fruit quality of olive cv. Picual. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants, 3*(3), 252-258.

Heidari, Z., Noruzi, P., Rezapour-Fard, J., & Jabbarzadeh, Z. (2023). Different LED light spectra's and nano-chelated potassium affect the quality traits of Dolce Vita cut roses in soilless culture condition. *Scientific Reports, 13*(1), 6769. https://doi.org/10.1038/s41598-023-34056-4

Hu, W., Lv, X., Yang, J., Chen, B., Zhao, W., Meng, Y., ... & Oosterhuis, D. M. (2016). Effects of potassium deficiency on antioxidant metabolism related to leaf senescence in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research, 191*, 139-149. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.025

Jia, K., Zhang, Q., Xing, Y., Yan, J., Liu, L., & Nie, K. (2020). A development-associated decrease in osmotic potential contributes to fruit ripening initiation in strawberry (*Fragaria ananassa*). *Frontiers in Plant Science, 11*, 1035. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01035

Keller, M. (2015). The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. Academic Press.

Keller, M. (2010). The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. Burlington, MA: Academic Press.

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. *Handbook of phycological methods, Physiological and biochemical methods, 95*.

Lester, G. E., Jifon, J. L., & Makus, D. J. (2010). Impact of potassium nutrition on food quality of fruits and vegetables: A condensed and concise review of the literature. *Better Crops, 94*(1), 18-21.

Lester, G. E., Jifon, J. L., & Rogers, G. (2005). Supplemental foliar potassium applications during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid, and beta-carotene contents. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 130*(4), 649-653.

Ma, Z. F, & Zhang, H. (2017). Phytochemical constituents, health benefits, and industrial applications of grape seeds: A mini-review. *Antioxidants, 6*(3), 71. https://doi.org/10.3390/antiox6030071

Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press, London.

Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and pralin contents in Burkina Fasan honey, as well as their scavenging activity. *Food Chemistry, 91*, 571-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

577. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006
Mengel, K. (2007). Potassium. In: Handbook of Plant Nutrition. (eds. Barker, A. V. and Pilbeam, D. J.) Pp. 91-120. CRC Press.
Mohammadi, S., Karimi, S., & Tavallali, V. (2024). Differential responses of green-synthesized iron nano-complexes in mitigating bicarbonate stress in almond trees. *Heliyon, 10*(3).
Mokhtarzadeh, Z, & Shahsavar, A. R. (2020). Effects of gibberellic acid, potassium nitrate and calcium sulfate on pomegranate fruit splitting and fruit characteristics. *Agriculturae Conspectus Scientificus, 85*(3), 237-245.
Mozafari, A. A., Ghadakchi asl, A., & Ghaderi, N. (2018). Grape response to salinity stress and role of iron nanoparticle and potassium silicate to mitigate salt induced damage under in vitro conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 24*, 25-35. https://doi.org/10.1007/s12298-017-0488-x
Mubashir, A., Nisa, Z. U., Shah, A. A., Kiran, M., Hussain, I., Ali, N., ... & Abd Elgawad, H. (2023). Effect of foliar application of nano-nutrients solution on growth and biochemical attributes of tomato (*Solanum lycopersicum*) under drought stress. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1066790. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1066790
Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., & Kumar, D. S. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science, 179*(3), 154-163. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012
Nanehkaran, F. M., Razavi, S. M., Ghasemian, A., Ghorbani, A., & Zargar, M. (2024). Foliar applied potassium nanoparticles (K-NPs) and potassium sulfate on growth, physiological, and phytochemical parameters in *Melissa officinalis* L. under salt stress. *Environmental Science and Pollution Research, 31*(21), 31108-31122. https://doi.org/10.1007/s11356-024-33306-w
Nelson, D. W, & Sommers, L. E. (1973). Determination of total nitrogen in plant material 1. *Agronomy Journal, 65*(1), 109-112.
Petrussa, E., Braidot, E., Zancani, M., Peresson, C., Bertolini, A., Patui, S., & Vianello, A. (2013). Plant flavonoids—biosynthesis, transport and involvement in stress responses. *International Journal of Molecular Sciences, 14*(7), 14950-14973. https://doi.org/10.3390/ijms140714950
Rasouli, M., Bayanati, M., & Tavakoli, F. (2024). Improving quantitative and qualitative traits of Grapes cv.'Fakhri'of Iran with foliar application of potassium silicate and humic acid. *Russian Journal of Plant Physiology, 71*(3), 86. https://doi.org/10.1134/S1021443724605251
Rawat, J., Pandey, N., & Saxena, J. (2022). Role of potassium in plant photosynthesis, transport, growth and yield. *Role of Potassium in Abiotic Stress*, 1-14. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4461-0_1
Rengel, Z., Cakmak, I., & White, P. J. (2022). Marschner's Mineral Nutrition of Plants. Academic Press.
Richter-Laskowska, M., Trybek, P., Delfino, D. V., & Wawrzkiewicz-Jalowiecka, A. (2023). Flavonoids as modulators of potassium channels. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(2), 1311. https://doi.org/10.3390/ijms24021311
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*, 1-13. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2072740
Sabir, A., Yazar, K., Sabir, F., Kara, Z., Atilla, M., & Goksu, N. (2014). Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae, 175*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.021
Sajyan, T. K., Shaban, N., Rizkallah, J., & Sassine, Y. N. (2018). Effects of monopotassium-phosphate, nano-calcium fertilizer, acetyl salicylic acid and glycinebetaine application on growth and production of tomato (*Solanum lycopersicum*) crop under salt stress. *Agronomy Research, 16*,(3).
Effects of Monopotassium- https://doi.org/10.15159/AR.18.079
Sarikhani, H, Haghi, H, Ershadi, A, Esnaashari, M., & Mehrdad, P. (2014). Foliar application of potassium sulphate enhances the cold- hardiness of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 89*(2), 141-146. https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513060
Seif Sahandi, M., Naghdi Badi, H., Mehrafarin, A., Khalighi-Sigaroodi, F., & Sharifi, M. (2019). Changes in essential oil content and composition of peppermint (*Mentha piperita* L.) in responses to nitrogen application. *Journal of Medicinal Plants, 18*(72), 81-97. https://doi.org/10.29252/jmp.4.72.81
Shalan, A. M. (2020). Fertilization by nanonano-powder potassium potassium sulfate sulfate enhancing production production of *Grapevines grapevines* cv. Crimson crimson seedlessseedless. *Journal of Plant Production, 11*(3), 207-213.
Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules, 24*(13), 2452. https://doi.org/10.3390/molecules24132452
Shin, R. (2014). Strategies for improving potassium use efficiency in plants. *Molecules and Cells, 37*(8), 575-584. https://doi.org/10.14348/molcells.2014.0141
Vattani, H., Vafaee, N., Moghadam, A. L., & Keshavarz, N. (2021). Research and comparison of different levels of

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

fertilizer nano zinc chelates and zinc sulfate and its effect on the growth parameters of parsley (*Petroselinum crispum* L.). *European Journal of Agriculture and Food Sciences, 3*(1), 23-27. https://doi.org/10.24018/ejfood.2021.3.1.220

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences, 14*, 7370-7390. https://doi.org/10.3390/ijms14047370

Watanabe, M., Balazadeh, S., Tohge, T., Erban, A., Giavalisco, P., Kopka, J., ... & Hoefgen, R. (2013). Comprehensive dissection of spatiotemporal metabolic shifts in primary, secondary, and lipid metabolism during developmental senescence in Arabidopsis. *Plant Physiology, 162*(3), 1290-1310.

Wei, T. L., Guo, D. L., Pei, M. S., Wang, Z. H., Liu, H. N., & Yu, Y. H. (2024). Hydrogen peroxide promotes potassium uptake by activating flavonoid biosynthesis pathway and ethylene signaling in grapevines. *Scientia Horticulturae, 326*, 112728. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112728

Zhang, C., Pan, C., Chen, H., & Wang, S. (2020). The relationship between carbohydrate translocation and the leaf-to-fruit ratio in walnut trees. *Horticultural Science and Technology, 38*(3), 308-322.

Zhang, M., Liaang, Y., Chu, G. (2017). Applying silicate fertilizer increases both yield and quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) grown on calcareous grey desert soil. *Scientia Horticulturae, 225*(18), 757-763. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.019

Zhang, S., Zhang, L., Zou, H., Qiu, L., Zheng, Y., Yang, D., & Wang, Y. (2021). Effects of light on secondary metabolite biosynthesis in medicinal plants. *Frontiers in Plant Science, 12*, 781236. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.781236

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]

Improving the biochemical and physical quality of Sultani grapefruit by foliar spraying with different levels of potassium nano-chelate

Ali Bahmani

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, 55136-553, Iran

(Received: 2024/12/10, Accepted: 2025/09/17)

Abstract

This study aimed to investigate the effect of foliar application of potassium nano-chelate on the fruit quality of the Sultani grape cultivar in a vineyard located in Malekan, East Azerbaijan. The experiment was conducted as a multi-observation randomized complete block design (RCBD) with three replications. The experimental treatment was foliar application of nano-chelated potassium fertilizer at four levels (control, 1, 2, and 4 kg thousand L^{-1}), which was sprayed in three stages: pre-flowering, two weeks after fruit set, and one month after the second spraying. To determine the morphological and physiological characteristics of the plant, leaf samples were collected as a multi-observation method from three positions: lower, middle, and upper. Results showed that the 4 kg thousand L^{-1} concentration of potassium nano-chelate had the most significant impact on fruit quality attributes. In the upper leaves, this concentration increased fruit firmness to 4.61 kg cm^{-2}, berry length to 13.87 mm, flavonoid content to 58.13 mg g^{-1}, and protein content to 1.92%. In the lower leaves, the same concentration enhanced total sugar to 28.26 mg g^{-1}, nitrogen to 3.68%, phosphorus to 0.97%, and potassium to 2.76%. Interestingly, the middle leaves treated with the 4 kg thousand L^{-1} concentration exhibited the highest levels of phenols (68.02 mg g^{-1}), chlorophyll (4.56 mg g^{-1}), and carotenoids (0.80 mg/g). Notably, the lowest fruit acidity (1.66) was observed in the lower leaves treated with the 4 kg thousand L^{-1} concentration. These findings demonstrate that using potassium nano-chelate at 4 kg per thousand L^{-1} concentration can serve as an effective strategy to improve the qualitative characteristics of Sultani grapes. However, the effects vary depending on the position of the sprayed leaves. These results provide valuable insights for producers to optimize nutritional management practices for grape production.

Keywords: Antioxidant, Foliar nutrition, Nanoparticles, Photosynthesis pigments, Yield

Corresponding author, Email: bahmani@maragheh.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.227]