

Evaluation of the Efficiency of Calcium and Potassium Thiosulfate Compounds on Biochemical Traits and Yield in the Walnut (*Juglans regia* L. var. Chandler)

S. Heydari¹ , V. Rabiei^{1*} , A. Soleimani² , F. Nasr¹ 

1- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Temperate Fruits Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organizations, Karaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: rabiei@znu.ac.ir)

Received: 28 April 2025

Revised: 19 June 2025

Accepted: 30 June 2025

Available Online: 30 June 2025

How to cite this article:

Heydari, S., Rabiei, V., Soleimani, A., & Nasr, F. (2026). Evaluation of the efficiency of calcium and potassium thiosulfate compounds on biochemical traits and yield in the walnut (*Juglans regia* L. var. Chandler). *Journal of Horticultural Science*, 40(1), 163-182. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93226.1427>

Introduction

The Persian walnut (*Juglans regia* L.) is a valuable commercial crop with high economic and nutritional value. Nutrition management is one of the most important factors affecting the growth and performance of modern walnut orchards. The demand for high-quality walnuts is increasing day by day in the national and international markets. Horticultural production has undergone tremendous changes in recent years due to the development of innovative technologies, including nutrient management practices. Nutrient management of walnuts is one of the important factors for increasing yield and improving the quality of walnut kernels. The use of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers is essential for tree growth and the production of fruits such as walnuts. The enhancement in the use of fertilizers in an irrational manner has led to a decrease in soil productivity and multiple nutrient deficiencies. Minimizing the use of chemical fertilizers in fruit cultivation is the goal of integrated fruit production. The gravity of environmental degradation caused by the faulty cultivation practices has led to focus on ecologically sound, viable and sustainable farming systems. In this study, in order to investigate the efficiency and feasibility of replacing sulfate-containing fertilizers with thiosulfate-based fertilizers, the effect of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate fertilizers on increasing the yield and quality of walnut fruit was evaluated in an experiment.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 1402, in a randomized complete block design with three replications and 5 trees per experimental unit in an orchard with 6-year-old Chandler trees grown from tissue culture seedlings in the Khoramdareh Agro-Industrial Complex. The experimental treatments included T1: regular orchard nutrition (control) including 50 kg.ha⁻¹ potassium nitrate calcium + 200 kg.ha⁻¹ potassium sulfate, T2: 100 L.ha⁻¹ calcium thiosulfate plus 200 kg.ha⁻¹ potassium sulfate, T3: 50 kg.ha⁻¹ potassium nitrate and calcium plus 100 L.ha⁻¹ potassium thiosulfate plus 125 kg potassium sulfate, T4: 100 L.ha⁻¹ calcium thiosulfate plus 100 L.ha⁻¹ potassium thiosulfate plus 125 kg potassium sulfate. After applying the treatments, after observing signs of ripening, the fruits of the tree were harvested and transferred to the laboratory for evaluation of biochemical and physical traits.

Results and Discussion



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93226.1427>

Analysis of variance for fruit and yield traits showed significant differences at the 1 and 5 % levels. Comparison of the means of these traits showed that the highest fruit dry weight, fresh and dry kernel weights, and kernel percentage were obtained in the calcium and potassium thiosulfate treatment, and the highest tree yield and yield efficiency per trunk cross-section were obtained in the calcium thiosulfate treatment. Calcium increases the growth of hairy roots, root cell division, root length and also enhance the absorption and transfer of nutrients and water to the plant, This led to an improvement in fresh and dry weight of the plant and yield. Calcium also increases the fresh and dry weight of the plant by increasing the transfer of carbohydrates from leaves to fruit. On the other side, potassium increases fresh and dry weight and yield by enhancing photosynthesis, carbohydrate formation and transport, maintaining intracellular pH, and absorbing nutrients from the soil. In addition, the results of the comparison of means showed that all treatments used increased the total phenol and flavonoid content of walnut fruit compared to the control, so that the highest total phenol and flavonoid content were obtained in the potassium thiosulfate and potassium and calcium thiosulfate treatments. Calcium reduces oxidative stress in the membrane through membrane strength and delays the degradation and reduction of phenolic compounds by strengthening the membrane and cell wall. Moreover, Potassium increases plant growth and photosynthetic activity, increasing the allocation of additional carbon to the shikimic acid pathway, thereby increasing phenolic substances such as phenols and total flavonoids. Potassium also increases phenolic compounds and antioxidants by increasing the activity of the enzyme phenylalanine ammonia lyase, which is a key enzyme in the synthesis of phenolic compounds. Analysis of variance of data related to crude fiber, total protein and crude fat of fruit showed significant difference between treatments at 1% level, but the effect of treatments on ash content of samples was not significant. Results of mean comparison showed that the highest amount of crude fiber was related to potassium and calcium thiosulfate treatment. Increased absorption and transport of nutrients is one of the important factors in increasing crude fiber in plants, and it seems that rapid absorption and transport of thiosulfate-containing compounds has led to improved fiber production. Analysis of variance of data related to linoleic and oleic acid traits of walnut fruit showed significant difference between treatments at 1% level and results of mean comparison also showed significant increase in linoleic acid content in fruits under calcium and potassium thiosulfate treatment and potassium thiosulfate treatment. There are two important sources for assimilation and oil formation. The first is the carbohydrate pathway that is produced in the leaf after photosynthesis and transferred to the fruit, and the second is the carbohydrate pathway that is formed during photosynthesis in the walnut fruit, which is converted into fatty acids after enzymatic processes. In this study, increasing sulfur, potassium, and calcium and increasing the absorption of trace elements due to thiosulfate consumption increased photosynthetic activity and increased the production of plant metabolites, which increased the fatty acids in walnuts. Therefore, the obtained results indicate high efficiency of calcium and potassium thiosulfate fertilizers in increasing quality and yield of walnut fruit.

Conclusion

Our findings indicated that calcium thiosulfate - potassium thiosulfate combination were the best treatments for increasing quantitative and qualitative characteristics of walnut fruit. These findings demonstrate the potential of calcium and potassium thiosulfate fertilizers to enhance walnut orchard productivity and fruit quality, making them a recommended choice for nutrient management strategies.

Keywords: Fatty acids, Flavonoid, Nutrition, Yield efficiency

ارزیابی کارایی ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد گردو ایرانی رقم 'چندلر' (*Juglans regia* L. var. Chandler)

صغری حیدری^۱ - ولی ربیعی^{۱*} - اصغر سلیمانی^۲ - فهیمه نصر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

چکیده

گردوی ایرانی (*Juglans regia* L.)، یک محصول مهم تجاری است که ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای ویژه‌ای دارد و تقاضا برای گردوهای با کیفیت روزبه‌روز در بازار ملی و بین‌المللی در حال افزایش است. از این رو، مدیریت مواد مغذی گردو یکی از عوامل مهم برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت مغز گردو می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی کارایی ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌عنوان جایگزین کودهای سولفات بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد گردو رقم Chandler ('چندلر') اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و پنج درخت در هر واحد آزمایشی در باغی با درختان شش ساله رقم 'چندلر' حاصل از نهال‌های کشت بافتی در مجتمع کشت و صنعت خرمدره اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل T1: تغذیه رایج باغ (شاهد) شامل نیتрат پتاسیم و کلسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، T2: تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، T3: نیترات پتاسیم و کلسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + ۱۲۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم، T4: تیمار تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + ۱۲۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم بودند. نتایج نشان داد که همه تیمارها در افزایش کیفیت، ترکیبات بیوشیمیایی و عملکرد گردو رقم 'چندلر' مؤثر بودند. تیمار تیوسولفات کلسیم در تلفیق با تیوسولفات پتاسیم به‌طور مؤثری باعث افزایش فنل کل و فلاونوئید کل، آنتی‌اکسیدان کل، پروتئین خام، چربی خام میوه نسبت به شاهد شد. کمترین میزان آهن، اسیداولئیک و اسیدلینولئیک در شاهد مشاهده گردید. همچنین بیشترین عملکرد درخت (۲/۸۱ کیلوگرم میوه خشک) و کارایی عملکرد در سطح مقطع تنه (۳۸/۵ گرم بر سانتی‌متر مربع) از تیمار تیوسولفات کلسیم به دست آمد. به‌طور کلی، استفاده از ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌عنوان بخشی از راهبرد تغذیه‌ای در باغات گردو برای بهبود عملکرد و کیفیت میوه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب، تغذیه، فلاونوئید، کارایی عملکرد

مقدمه

(et al., 1999). با توجه به آمارنامه سازمان خواروبار جهانی (FAO)، سطح باغات گردو در جهان در سال ۲۰۲۳ بیش از ۱/۲ میلیون هکتار بوده است که از این مقدار حدود ۳/۹ میلیون تن گردو برداشت می‌شود. کشور چین با ۲۷۹ هزار هکتار، بزرگ‌ترین تولیدکننده گردو و ایران با ۱۶۱ هزار هکتار چهارمین کشور از نظر سطح زیرکشت است. میانگین عملکرد جهانی باغات گردو در این سال بالغ بر ۳۹۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، درحالی‌که در ایران براساس آخرین آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۲)، عملکرد باغات گردوی کشور کمتر از ۱۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (FAO, 2022; Anonymous, 2023). مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد و کیفیت محصول تولیدی باغات گردوی کشور ایران، بذری و سنتی بودن باغات در کنار

گردو رقم چندلر (*Juglans regia* L. var. Chandler) یکی از خشک‌میوه‌های مهم است که از دیرباز در ایران مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. در بین محصولات باغبانی، خشکبارها به‌دلیل مقادیر بالای روغن، پروتئین، عناصر غذایی، ویتامین‌ها و ترکیباتی مانند فسفولیدها، استرهای استرول، توکوفرول‌ها، فنل‌ها، فلاونوئیدها، اسیدفولیک و انواع آنتی‌اکسیدان‌ها دارای ارزش غذایی بالایی هستند (Germain)

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*)- نویسنده مسئول:
Email: rabiei@znu.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93226.1427>

مشکلات مربوط به مدیریت باغات از قبیل تغذیه و آبیاری نامناسب می‌باشد (Hassani et al., 2020).

تأمین صحیح عناصر غذایی ضروری، نقش کلیدی در افزایش کمیت و کیفیت محصول ایفا می‌کند. در این میان، عناصر کلسیم، پتاسیم و گوگرد نقش ویژه‌ای در رشد، توسعه و کیفیت میوه دارند. کلسیم به‌عنوان یک ماده مغذی پرمصرف، نقش حیاتی در رشدونمو گیاهان ایفا می‌کند. کلسیم یکی از مهم‌ترین عناصر در تولید گردو می‌باشد که در بافت‌های گیاهی غیرمتحرک بوده و تنها با حرکت آب در طی فرآیند تعرق جابه‌جا می‌شود. به همین دلیل، انتقال این عنصر در درون بافت‌ها کند بوده و برای جلوگیری از بروز علائم کمبود باید به‌صورت پیوسته در دسترس گیاه قرار گیرد. کلسیم به‌صورت یون دوظرفیتی از خاک جذب می‌شود و در درون گیاه، قابلیت انتقال از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان و نوک ساقه را ندارد و مقدار آن در آوندهای آبکش کمتر بوده و علت آن هم احتمالاً به‌دلیل رسوب کلسیم به‌صورت فسفات کلسیم می‌باشد (Malakoti, 2000). کمبود کلسیم موجب کاهش رشد و همچنین لوله شدن برگ‌ها و قهوه‌ای شدن ریشه‌ها می‌شود. در صورتی که گیاه با کمبود کلسیم مواجه شود، برگ‌ها بدشکل و پیچیده و زرد رنگ شده و به سمت پایین خم می‌شوند. کمبود کلسیم یا مشکل در جذب آن در گردو باعث می‌شود که پوست چوبی میوه به‌خوبی تشکیل نشود (Yu et al., 2020). همچنین کلسیم در اتصال پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های تشکیل‌دهنده دیواره سلولی نقش داشته و از این طریق در بهبود نمو گل، بلوغ و انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به میوه‌ها نقش مهمی را ایفا می‌نماید (Lanauskas & Kvikliene, 2006).

در مطالعه‌ای، اثرات محلول‌پاشی برگی کلسیم بر رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی درخت پسته (*Pistacia vera* L.) مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای کلسیم به‌صورت آمینوکلات یا کلرید انجام شد و هفته‌ای یک بار روی شاخ و برگ محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد که تیمار کلسیم به‌طور قابل توجهی رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی همه پایه‌ها را بهبود بخشید (Rabari et al., 2023).

در مطالعه‌ای دیگر نیز تأثیر کاربرد کود کلسیم بر رشد گیاه و تخصیص آن بین بخش‌های مختلف درختان مرکبات بررسی شد. نتایج نشان داد که گیاهانی که کلسیم دریافت کردند، به‌طور قابل توجهی دارای زیست‌توده بیشتری بودند و کلسیم موجب افزایش رشد و کیفیت میوه‌های مرکبات شد (Morales et al., 2023).

پتاسیم جزء فراوان‌ترین کاتیون‌ها در گیاهان است و عملکرد مهمی در گیاه ایفا می‌کند. از جمله نقش‌های پتاسیم در گیاهان می‌توان به فتوسنتز، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیم‌ها، حفظ پتانسیل غشاء پلاسمایی، سنتز پروتئین، حفظ تعادل آنیون-کاتیون و تنظیم باز و

بسته شدن روزنه‌ها اشاره نمود (Pandey & Mahiwal, 2020). همچنین این عنصر در حرکت آب، مواد مغذی و کربوهیدرات‌ها در بافت گیاه نقش دارد و عنصر مهمی در افزایش مقاومت گیاه به تنش است (Hafsi et al., 2014). اثر محلول‌پاشی پتاسیم در پرتقال رقم تامسون ناول (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Thomson (Navel) برای حفظ کمیت و کیفیت میوه‌ها مناسب گزارش شده است (Kaviani et al., 2023). در میوه کیوی (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson) نیز اثر پتاسیم بر تمامی ویژگی‌های مربوط به عملکرد و خواص کیفی میوه معنی‌دار بود (Moradi et al., 2016) و در گردو نیز پتاسیم باعث افزایش وزن مغز و درصد مغز، کاهش میزان چروکیدگی مغز، بهبود کیفیت رنگ مغز و در نهایت افزایش عملکرد شد (Bilgin, 2022). گوگرد به‌عنوان چهارمین عنصر بعد از نیتروژن، فسفر و پتاس قرار گرفته است که برای رشدونمو گیاه ضروری می‌باشد (Boyd, 2016). وقتی خاکی با کمبود گوگرد مواجه شود و به آن توجه نگردد، گیاهان به حداکثر تولید نخواهند رسید. گوگرد در گیاهان به‌صورت سولفات جذب می‌شود و این عنصر در ساختمان دو آمینواسید مهم متیونین و سیستئین وجود دارد (Droux, 2004). اثر کاربرد سطوح مختلف کود گوگردی کشاورزی بر برخی از خواص رشدی پسته و قره قاط^۱ (*Vaccinium arctostaphylos* L.) و خرما (*Phoenix dactylifera* L.) بررسی و نتایج نشان داد که کود گوگردی بر تمامی خصوصیات مورد مطالعه تأثیر معنی‌دار داشت (Nazoori et al., 2022; Awad et al., 2003).

پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه ارتباط بین عناصر غذایی خاک و درخت گردو نشان داده است که عناصر قابل استخراج موجود در خاک به‌طور مستقیم با عناصر موجود در برگ و میوه‌های گردو مطابقت ندارند و برای به دست آوردن بالاترین عملکرد باید عناصر با بهترین شکل و کیفیت قابل جذب در اختیار درختان قرار داده شود (Oskonbaeva et al., 2024). در سال‌های اخیر، استفاده از ترکیبات کودهای با بنیان تیوسولفات به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص، مورد توجه قرار گرفته است. تیوسولفات‌ها توانایی بالایی در افزایش جذب عناصر غذایی دارند و با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، کارایی جذب کلسیم و پتاسیم را ارتقاء می‌دهند. تیوسولفات و سولفات، ترکیبات شیمیایی هستند که هر دو حاوی سولفور (گوگرد) هستند، اما در ساختار و رفتار با هم تفاوت دارند. این تفاوت به‌دلیل وجود یک اتم گوگرد اضافی در ساختار ترکیبات تیوسولفات است که جایگزین اکسیژن شده است. همچنین این ترکیبات فاقد کلر و ناخالصی‌ها هستند و جذب عناصر پتاسیم و

است (Xu et al., 2020). در مطالعه‌ای، تیوسولفات کلسیم و پتاسیم موجب افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی و کیفیت فلفل دلمه (*Capsicum annuum* L.) شده است (Moosavi-Nezhad et al., 2024). در این تحقیق، اثرات کاربرد ترکیبات شیمیایی کلسیم و پتاسیم با بنیان تیوسولفات روی برخی صفات میوه‌شناختی، بیوشیمیایی و عملکردی درختان گردو رقم چندلر در مقایسه با کودهای معمول در کشور، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ در باغات گردوی ۳۰۰ هکتاری مجتمع کشت و صنعت دشت خرمدره واقع در استان زنجان، شهرستان خرمدره با عرض جغرافیایی ۲۵° ۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ۴۹° شرقی و ارتفاع ۱۵۹۸ متر از سطح دریا انجام گرفت. این باغ با استفاده از نهال‌های کشت بافتی شرکت کشت و صنعت رعنا و رقم چندلر با فاصله ۷×۷ متر احداث شده است و در سال‌های اولیه باردهی اقتصادی قرار دارد. درختان گردوی مورد آزمایش به‌صورت تصادفی انتخاب شده و همگی شش ساله بودند. بافت خاک باغ مورد مطالعه تا عمق یک متری لومی ماسه‌ای با ۱۵-۱۳ درصد رس، ۲۴-۲۰ درصد سیلت و ۶۵-۶۳ درصد ماسه بود. نتایج تجزیه عناصر خاک باغ به شرح جدول ۱ می‌باشد (Bilgin, 2021).

کلسیم در ترکیبات تیوسولفات در مقایسه با ترکیبات سولفات بیشتر می‌باشد (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد تیوسولفات پتاسیم، تعادل اسمزی را در گیاه تقویت کرده و به انتقال مؤثر کربوهیدرات‌ها و سایر مواد مغذی از طریق آوند آبکش کمک می‌کند (Xu et al., 2020). تیوسولفات‌های کلسیم از طریق تأمین کلسیم محلول در خاک منجر به افزایش جذب این عنصر شده و ناهنجاری‌های رایج فیزیولوژیکی ناشی از کمبود کلسیم شامل پوسیدگی گلگاه در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) و لکه تلخی در سیب (*Malus domestica* Borkh) را برطرف نموده و منجر به افزایش کیفیت میوه و عمر انباری آن شده است، که این کار علاوه بر جلوگیری از ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی، از طریق تثبیت ساختار سلولی انجام می‌گیرد (Santos et al., 2023). به علاوه تیوسولفات‌ها از طریق تأمین مقادیر کافی گوگرد و بهبود سنتز پروتئین‌ها در افزایش عملکرد و بهبود سلامتی گیاهان نقش بسیار مهمی دارند، با این حال کارایی تیوسولفات‌ها به شرایط خاک، نحوه مصرف و نوع گیاه بستگی دارد (Xu et al., 2020). کود تیوسولفات کلسیم و پتاسیم دارای درصد بالایی از عنصر کلسیم و پتاسیم است که سرعت جذب از طریق برگ گیاه را افزایش می‌دهد. این کود به دلیل قرار گرفتن درصد بالایی از کلسیم و پتاسیم در کنار گوگرد، ترکیبی منحصر به فرد در مقایسه با ترکیبات مشابه می‌باشد، که در تمام مراحل رشدی گیاه قابل استفاده

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک باغ

Table 1- Physiochemical analysis of the garden soil

ارزش														
عمق	هدایت	خشی سازی	مواد آلی	کربن آلی	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز	کلسیم	گوگرد	منیزیم
نمونه برداری	اسیدیتته الکتریکی	کل	Organic matter	Organic carbon	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca	Mg	S
Sampling depth (cm)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	Total neutralizing value (%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
0-30	0.79	7.02	2.55	1.94	1.13	0.11	8	96.4	9.43	1.73	1.07	13.77	60	84
30-60	0.87	7.28	6.23	0.96	0.56	0.06	5.8	137.4	4.86	0.6	1.06	3.28	164	31.2
60-90	0.92	7.1	3.86	2.07	1.2	0.12	23.6	246.2	4.5	1.44	1.52	3.8	168	62.4

تیمارها، کود کامل NPK (N=5 %، P=10 %، K=40 %) به میزان ۷/۵ لیتر در هکتار در اواسط خرداد محلول پاشی شد (Bilgin, 2021). کودهای تیوسولفات کلسیم (CaTs) و تیوسولفات پتاسیم (KTS) مورد استفاده، تولیدی شرکت تسندرو کرلی بلژیک^۱ بودند که محلول‌های شفاف با پایه خنثی و بدون کلرید بوده و میزان و نحوه مصرف آن‌ها طبق دستورالعمل شرکت سازنده انجام شد (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

این آزمایش با هدف ارزیابی کارایی کودهای تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات کلسیم در مقایسه با کودهای سولفات کلسیم و نیتрат پتاسیم کلسیم و بررسی امکان جایگزینی آن‌ها با کودهای سولفات پتاسیم و نیترات پتاسیم انجام شد. برای اجرای آزمایش، چهار تیمار مختلف کودی اعمال شد که شامل موارد زیر بود.

در تمامی تیمارهای مورد ارزیابی، ترکیبات کودی به‌صورت مصرف خاک، در اختیار درختان قرار گرفتند، همچنین در تمامی

- ترکیب شیمیایی و درصد وزنی (w/w) غلظت عناصر در تیمارهای کودی مورد استفاده به ترتیب زیر بود:
- کود تیوسولفات کلسیم (CaTs):
CaS₂O₃; Ca=6 %, S= 10 %
- کود تیوسولفات پتاسیم (KTS):
K₂S₂O₃; K=25 % , S= 17%
- نیترات کلسیم پتاسیم:
(Ca(NO₃)₂+KNO₃; N= 14%, K= 28 %, Ca= 10 %
- سولفات پتاسیم:
K₂SO₄; K= 44 %, S= 17 %

جدول ۲- جزئیات کودهای مورد استفاده در آزمایش

Table 2- The details of fertilizer application in the experiment

شماره تیمار Treatment number	ترکیب کود استفاده شده در تیمار و زمان استفاده کود The composition of the fertilizer used in the treatment and time of application in the experiment
شاهد (Control)	سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مرداد) + نیترات کلسیم-پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار (اواخر فروردین)
T1	Potassium sulfate 200 kg.ha ⁻¹ (in August) + calcium-potassium nitrate 50 kg.ha ⁻¹ (Late April)
تیمار دو T2	سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مرداد) + تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر فروردین)
T2	Potassium sulfate 200 kg.ha ⁻¹ (in August) + CaTs 100 L.ha ⁻¹ (Late April)
تیمار سه T3	نیترات کلسیم-پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار (اواخر فروردین) + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر اردیبهشت) + سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار (اواخر مرداد)
T3	Calcium-potassium nitrate 50 kg.ha ⁻¹ (late April) + KTS 100 L.ha ⁻¹ (late May) + potassium sulfate 125 kg.ha ⁻¹ (in late August)
تیمار چهار T4	تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر فروردین) + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر اردیبهشت) + سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار (مرداد)
T4	CaTs 100 L.ha ⁻¹ (late April) + KTS 100 L.ha ⁻¹ (late May) + potassium sulfate 125 kg.ha ⁻¹ (in August)

جدول ۳- ترکیب تیمارهای کودی اعمال شده در آزمایش

Table 3- Combination of fertilizer treatments applied in the experiment

شماره تیمار Treatment number	ترکیب کود استفاده شده در تیمار The composition of the fertilizer used in the treatment	علامت اختصاری Abbreviation
T1	سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار + نیترات کلسیم-پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار	شاهد Control
T2	تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	تیوسولفات کلسیم CaTs
T3	نیترات کلسیم-پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار	تیوسولفات پتاسیم KTS
T4	تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار	تیوسولفات کلسیم + تیوسولفات پتاسیم CaTs+KTS

کرت انجام گرفت. برای اجرای آزمایش، یک تانک تزریق کود با لوله کشی جداگانه برای هر کرت طراحی شده بود و تزریق کودهای هر تیمار به صورت جداگانه از طریق این سیستم انجام گرفت. در بین تزریق های تیمارهای مختلف، سیستم با آب خالی شست و شو شده و سپس تیمار بعدی اعمال می شد. در نهایت بعد از اعمال تیمارها، آبیاری قطعات با استفاده از سیستم آبیاری اصلی باغ انجام شد تا کود در اختیار درختان قرار بگیرد.

این آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تیمار، سه تکرار و پنج درخت در هر واحد آزمایشی (۱۵ درخت برای هر تکرار و در مجموع ۶۰ درخت برای کل آزمایش) انجام شد. در زمان اجرای آزمایش، برای جلوگیری از اختلاط و تأثیر تغذیه درختان مجاور روی درختان تحت تیمار، بین هر کرت با کرت کناری سه ردیف فاصله در نظر گرفته شد. به علاوه در هر کرت، یک ردیف درخت کناری در چهار طرف تیمار اصلی نیز با تیمار کودی همان کرت تغذیه شد، ولی یادداشت برداری ها فقط بر روی درختان اصلی هر

۳-۴ ساعت حرارت داده شد تا نمونه کاملاً هضم و محلول شفاف رنگی به دست آمد (Golzar et al., 2013). در اثر هضم، ازت آلی تبدیل به سولفات آمونیوم می‌شود. در دومین مرحله که تقطیر است با اضافه کردن سود، یون آمونیاک آزاد شده در محلول اسیدبوریک جذب شده و بورات آمونیوم تشکیل شد. در مرحله سوم که تیتراسیون است، بورات آمونیوم با اسید استاندارد تیترا شده و مقدار ازت آلی به دست آمد.

محتوی فنل کل و فلاونوئید کل

محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتو در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری گردید. داده‌های به‌دست‌آمده براساس میلی گرم اسیدگالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد. برای اندازه‌گیری فلاونوئید از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۱۵ نانومتر استفاده شد و نتایج برحسب میلی گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد (Sharma et al., 2001).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی براساس روش دهقان و خوشکام (Dehghan & Khoshkam, 2012) انجام گرفت و برحسب درصد بیان شد.

$$RSA = \frac{(Ac - As)}{Ac} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، As: جذب نمونه حاوی عصاره و Ac: جذب شاهد است.

عناصر غذایی

برای اندازه‌گیری عناصر غذایی برگ از دو روش هضم به‌روش مخلوط اسیدسولفوریک و اسیدسالیسیک و هضم به‌روش سوزاندن خشک و ترکیب اسیدکلریدریک جهت تهیه عصاره استفاده شد (Simonne et al., 1993).

اندازه‌گیری اسیدهای چرب

مقدار اسیدهای چرب موجود در نمونه‌های شاهد و تحت تیمار به‌روش گونزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2003) مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط و نوع ستون دستگاه GC-FID جهت سنجش میزان اسیدهای چرب، شامل ستون BPX70 دارای ابعاد ۳۰ میلی‌متر $\times$ ۰/۲۵ میلی‌متر گاز حامل هلیوم، نوع آشکارساز FID با دمای ۳۵۰ سانتی‌گراد و دمای تزریق ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بود.

در مهر ماه، بعد از مشاهده علائم رسیدگی (ترک خوردن ۸۰ درصد پوست سبز گردوها) میوه‌ها برداشت و شمارش شدند و از هر درخت ۲۰ عدد میوه به‌صورت تصادفی انتخاب شده و جهت انجام ارزیابی صفات بیوشیمیایی میوه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. آنالیزهای عناصر غذایی بافت میوه با همکاری آزمایشگاه گروه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان و اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی و فیزیکی میوه در گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان انجام شد.

صفات مورد اندازه‌گیری

صفات میوه و عملکرد

وزن تر و وزن خشک میوه گردو با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۱ گرم به دست آمد. برای این منظور، در هر تکرار وزن ۲۰ میوه به‌صورت تکی ثبت شد و در نهایت میانگین وزن‌های به‌دست‌آمده در هر تکرار برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد هر درخت و کارایی عملکرد از طریق معادله ۱ و ۲ محاسبه و به‌صورت گرم بر سانتی‌متر مربع بیان شد (Khorami & Vahdati, 2019).

$$(1) \quad \times \text{ میانگین وزن خشک میوه هر درخت} = \text{عملکرد}$$

تعداد میوه هر درخت

$$(2) \quad \frac{\text{میانگین عملکرد هر درخت}}{\text{سطح مقطع تنه درخت}} = \text{کارایی عملکرد (گرم در سانتی‌متر مربع)}$$

چربی خام

چربی خام با دستگاه سوکسوله مدل دستگاه SX100-G، شرکت سازنده Bakhshi، کشور ایران، در دمای ۶۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و برای استخراج چربی از حلال‌های اتراکسید، پترولیوم اتر و N هگزان استفاده شد. نمونه مورد آزمایش حداقل بین ۸-۱۱ ساعت در معرض این حلال‌ها قرار گرفت تا چربی آن‌ها استخراج شود (Anonymous, 2019).

فیبر یا الیاف خام

برای اندازه‌گیری الیاف خام (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) از روش جوشاندن با اسید رقیق‌شده (اسیدسولفوریک ۱/۲۵ درصد) و باز رقیق‌شده (سود ۱/۲۵ درصد) به مدت ۰/۵ ساعت استفاده شد و نمونه هضم‌شده با اسید و باز، صاف شده و مواد غیرمحلول آن جدا و به‌عنوان فیبر محاسبه گردید (de Almeida et al., 2006).

پروتئین خام

اندازه‌گیری پروتئین خام به‌روش استاندارد کج‌دال انجام شد و نمونه کاملاً آسیاب‌شده با اسیدسولفوریک غلیظ و همراه با کاتالیزور حدود

تجزیه و تحلیل آماری

پس از کنترل مفروضات شامل نرمال بودن داده‌های آزمایشی توسط نرم‌افزار Minitab، تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ورژن ۲۲ انجام گرفت و برای مقایسه بین میانگین‌ها نیز آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

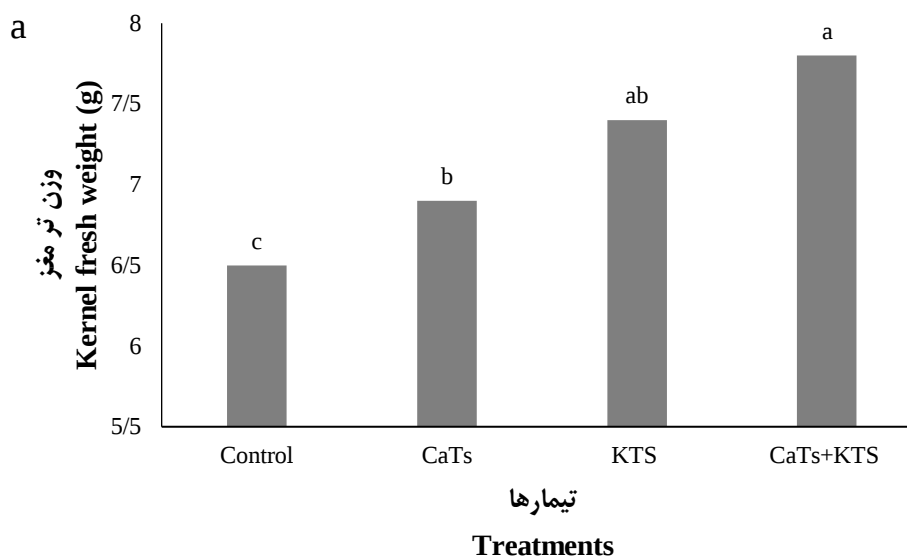
نتایج و بحث

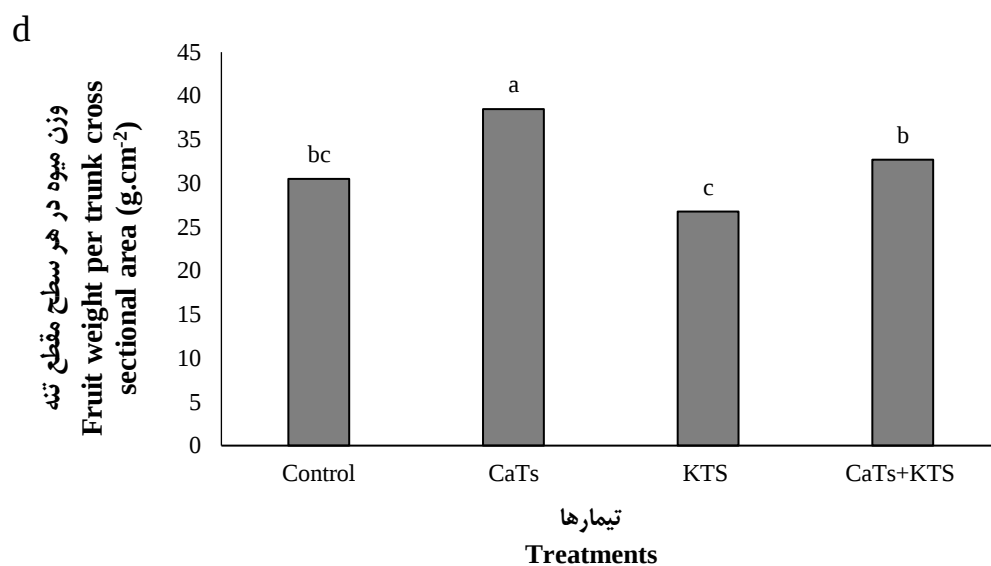
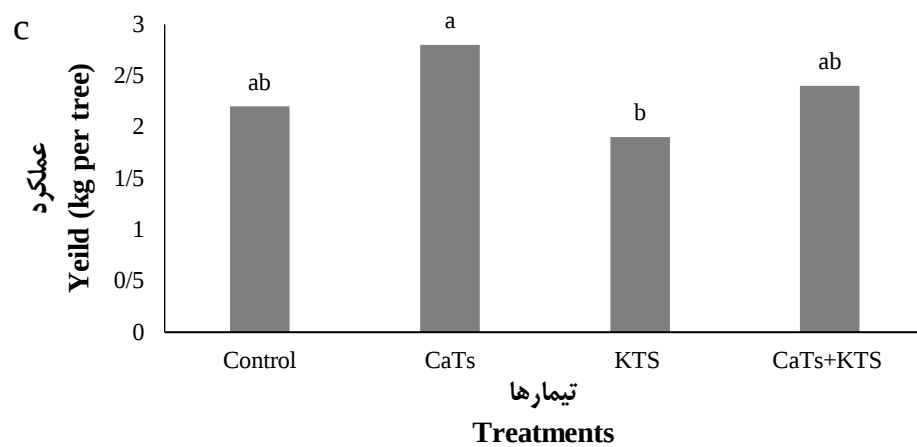
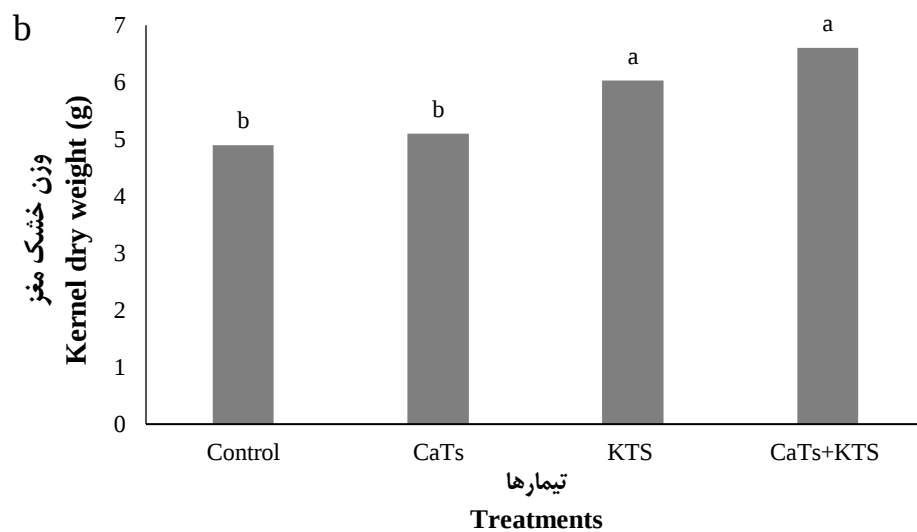
صفات میوه و عملکرد

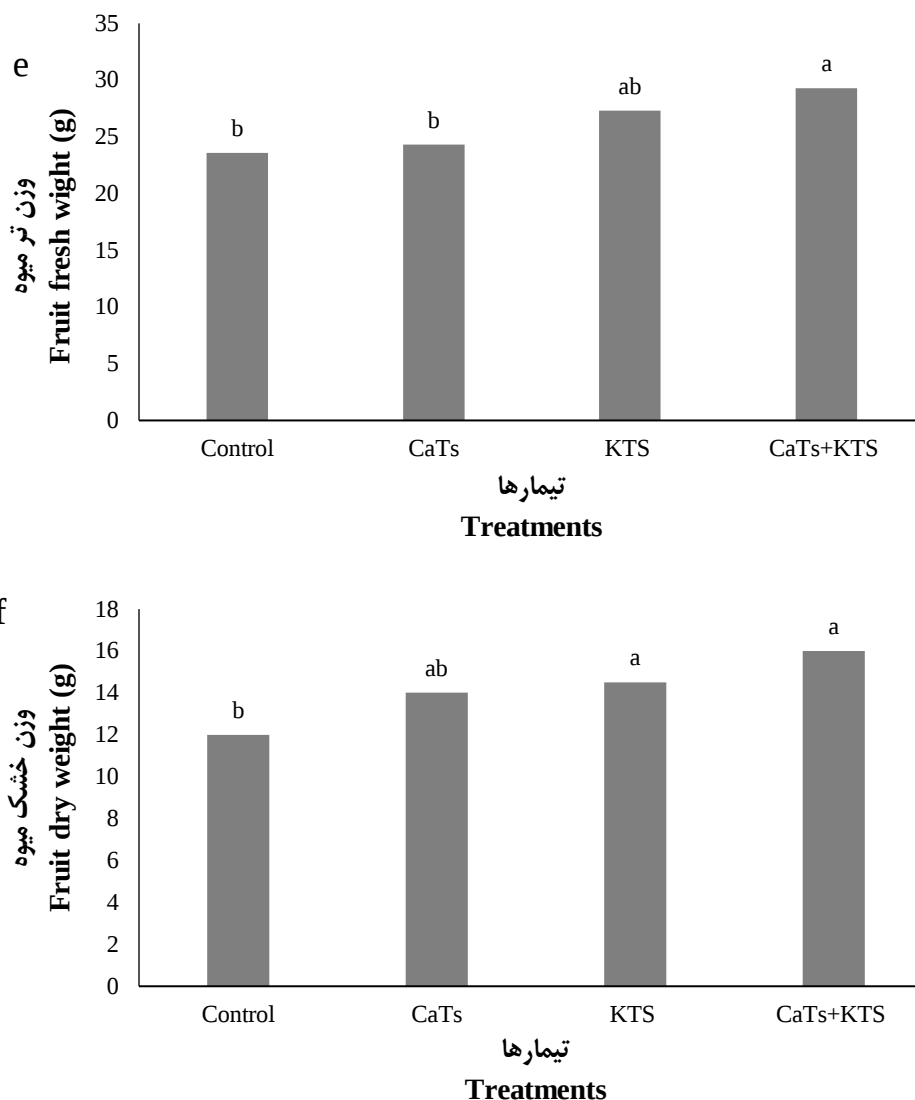
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری در صفات مربوط به میوه و عملکرد در سطح احتمال یک و پنج درصد وجود داشت. مقایسه میانگین این صفات نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک میوه، میانگین وزن تر مغز، میانگین وزن خشک مغز و درصد مغز در تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم و بیشترین عملکرد درخت و کارایی عملکرد در سطح مقطع تنه در تیمار تیوسولفات کلسیم به دست آمد. در مقابل، کمترین وزن خشک میوه، وزن تر مغز و وزن خشک مغز در شاهد، کمترین وزن میوه در درخت (۱/۹ کیلوگرم میوه خشک) و کارایی عملکرد (۲۶/۸)

گرم بر سانتی‌متر) در تیمار تیوسولفات پتاسیم مشاهده گردید (شکل ۱).

مصرف بهینه مواد غذایی برای افزایش عملکرد و کیفیت میوه بسیار ضروری است. پتاسیم و کلسیم با بهبود شرایط فیزیولوژیکی مانند محتوای نسبی آب (با فعال نمودن پمپ پروتونی غشاء و کنترل حرکات روزنه‌ای) موجب افزایش رشد ریشه و توسعه سطح برگ شده و با افزایش سطح برگ، میزان فعالیت فتوسنتزی و ماده‌سازی نیز افزایش می‌یابد. پتاسیم با کاهش میزان تنفس موجب افزایش ماده خشک و در نتیجه وزن تر و خشک گیاه می‌شوند (Taiz & Zeiger, 2002). پتاسیم موجب افزایش وزن تر و خشک میوه زیتون (*Olea europaea* L.) (Hegazi et al., 2011) و گردو (Zareei et al., 2018) و گردو (Bilgin, 2022) شده است. علاوه بر این، پتاسیم با افزایش فتوسنتز، تشکیل و انتقال کربوهیدرات، حفظ pH درون سلولی و جذب عناصر غذایی از خاک موجب افزایش وزن تر و خشک و عملکرد شده است (El-Badawy, 2019). جذب و انتقال مواد هیدروکربنی با افزایش میزان پتاسیم افزایش می‌یابد (Singh & Usha, 2001).







شکل ۱- وزن تر مغز (a)، وزن خشک مغز (b)، عملکرد (c)، وزن میوه در سطح مقطع تنه (d)، وزن تر میوه بدون پوست (e)، وزن خشک میوه بدون پوست (f) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم
 Figure 1- The kernel fresh weight (a), kernel dry weight (b), yield (c), fruit weight per trunk sectional area (d), fruit fresh weight (e), and fruit dry weight (f) of 'Chandler' walnut affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination (DMRT, $p \leq 0.05$)

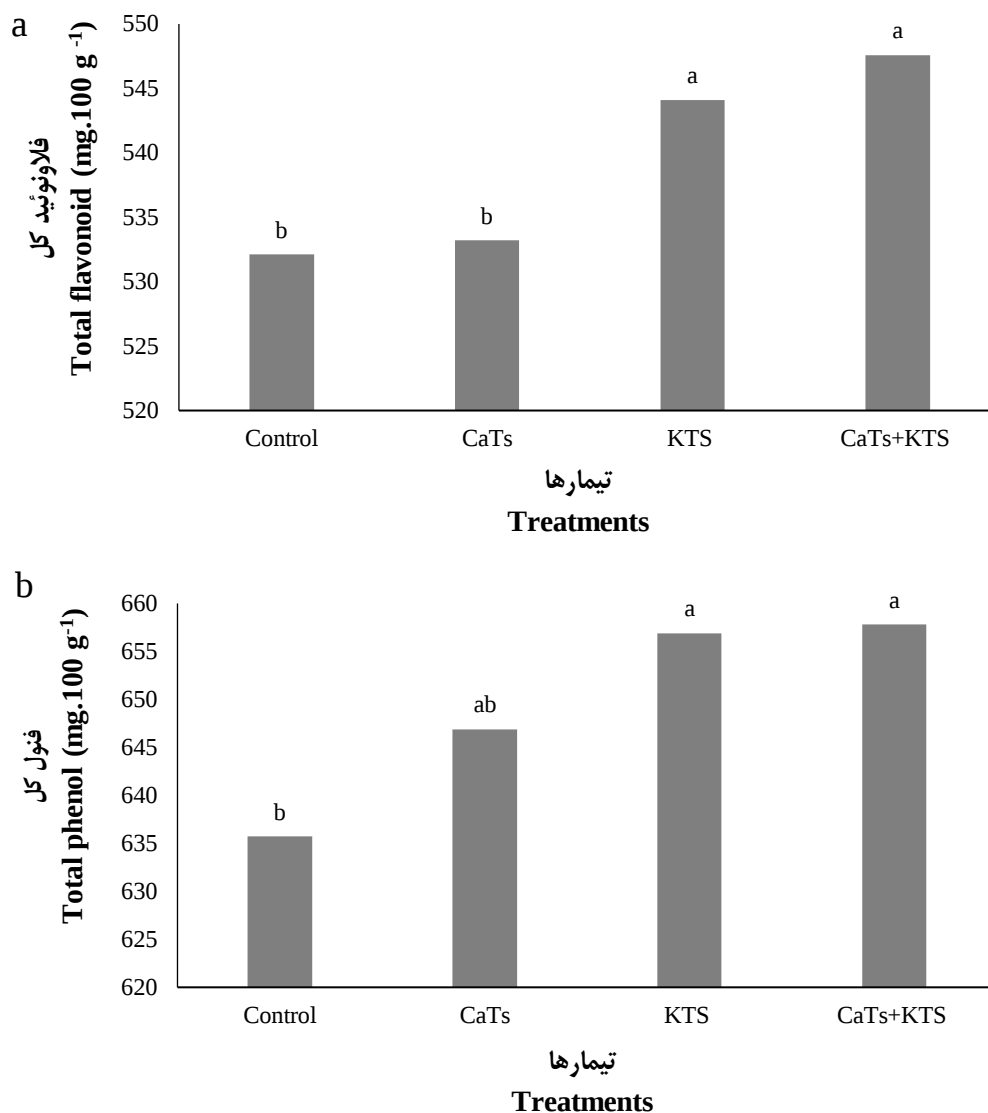
پتاسیم و کلسیم و تأمین مقادیر کافی گوگرد باعث بهبود شرایط تولید محصول گردو به خصوص در صفات مربوط به میوه از قبیل وزن تر، خشک میوه و مغز گردو شده است. با توجه به اینکه درصد مغز در رقم چندلر به دلیل ویژگی‌های ژنتیکی معمولاً کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد، کاربرد ترکیبات بهبوددهنده میزان مغز میوه نقش ارزشمندی در مدیریت باغات گردو خواهند داشت (Hassani et al., 2020). تیمار تیوسولفات پتاسیم موجب افزایش وزن تر و خشک میوه و عملکرد میوه سیب شده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد (Bound & Wilson, 2004).

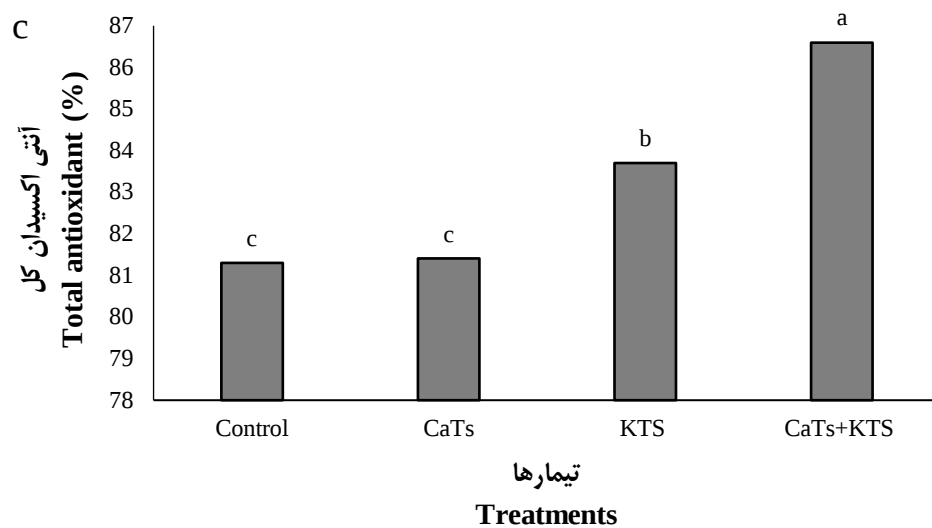
کلسیم با افزایش رشد ریشه‌های موئین، تقسیم سلولی ریشه و افزایش طول ریشه موجب افزایش جذب و انتقال مواد غذایی و آب به گیاه شده و موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه و عملکرد می‌شود. علاوه بر این، کلسیم با افزایش انتقال کربوهیدرات از برگ‌ها به میوه موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (Al-Yousif & Al-Miah, 2007). همچنین کلسیم موجب افزایش وزن تر و خشک عناب (*Ziziphus jujuba* Mill.) (Ghesmati et al., 2017) و انار (*Punica granatum* L.) (Rouhi et al., 2015) شده است و به نظر می‌رسد که کاربرد ترکیبات تیوسولفات با جذب بهتر عناصر

فنل، فلاونوئید کل و آنتی‌اکسیدان‌ها

تجزیه واریانس فنل و فلاونوئید کل و آنتی‌اکسیدان‌ها اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد. نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و تیمار ترکیبی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم نشان داد که تمامی تیمارها موجب افزایش میزان فنل و فلاونوئید کل میوه گردو نسبت به شاهد شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان فنل کل و فلاونوئید کل در تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و

تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به دست آمد. کمترین فنل کل و فلاونوئید کل در نمونه‌های شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان کل در تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و تیمار سولفات کلسیم و پتاسیم به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۹/۳ و ۶۸ درصد مشاهده شد. تیمارهای شاهد و تیوسولفات کلسیم، کمترین میزان آنتی‌اکسیدان کل را داشتند (شکل ۲).





شکل ۲- محتوی فلاونوئید کل (a)، فنل کل (b) و آنتی اکسیدان کل (c) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

Figure 2- The total flavonoid (a), total phenol (b) total antioxidant (c) content of 'chandler' walnut fruit affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination (DMRT, $p \leq 0.05$).

رشد گیاه و افزایش فعالیت فتوسنتزی موجب افزایش تخصیص کربن اضافی به مسیر اسیدشیمیکی شده و از این طریق موجب افزایش مواد فنلی مانند فنل و فلاونوئید کل می شود (Nguyen et al., 2010). همچنین پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز که آنزیم کلیدی در سنتز ترکیبات فنلی است موجب افزایش ترکیبات فنلی و مواد آنتی اکسیدانی می شود. در پژوهش های دیگر، پتاسیم موجب افزایش مواد آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنلی در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (Neguyen et al., 2010)، چای (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) (Mudau et al., 2007) و انگور (Zareei et al., 2018) شده است. مصرف تیوسولفات کلسیم و پتاسیم موجب افزایش مواد آنتی اکسیدانی در فلفل دلمه شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

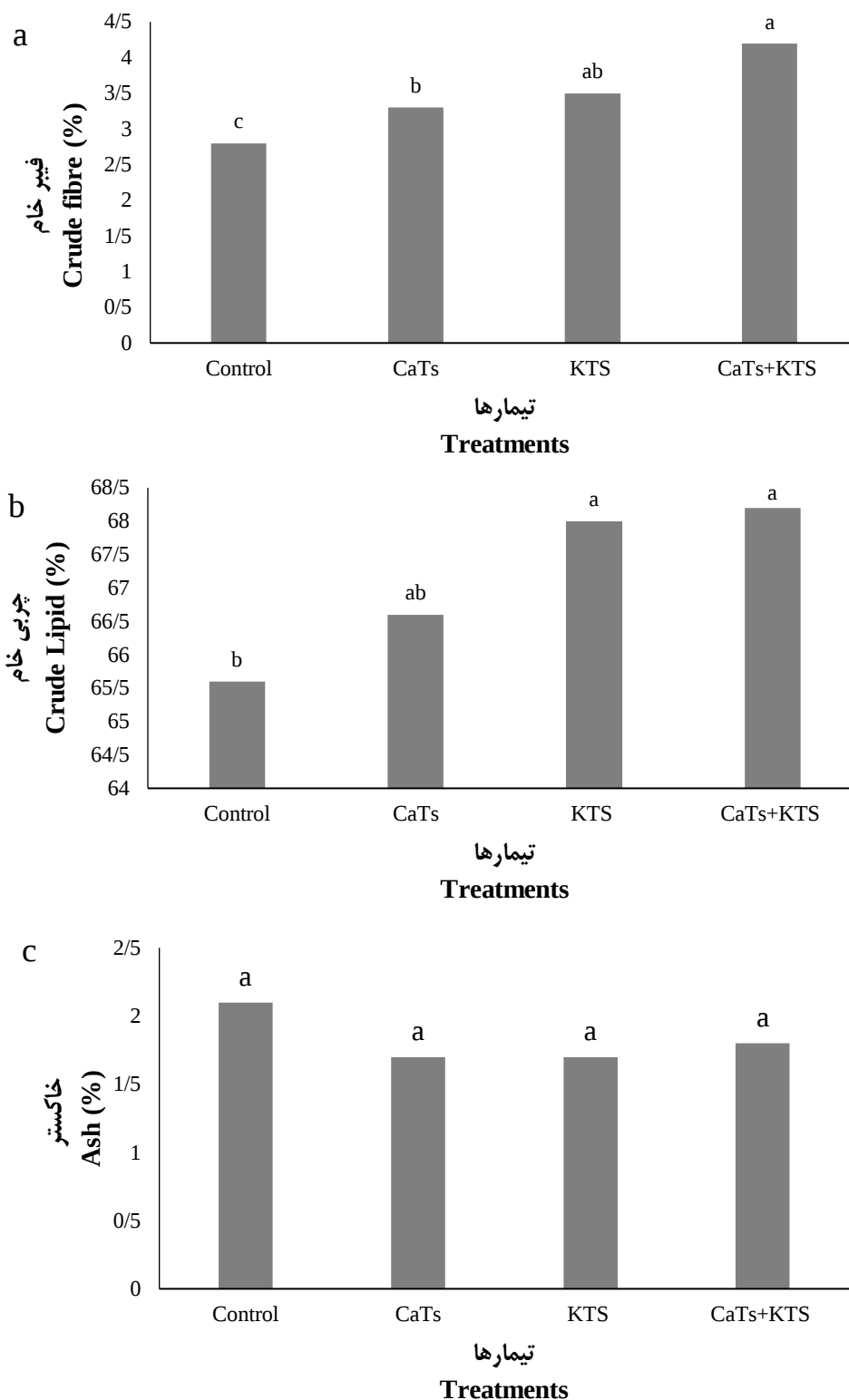
فیبر خام، خاکستر، پروتئین کل و چربی خام

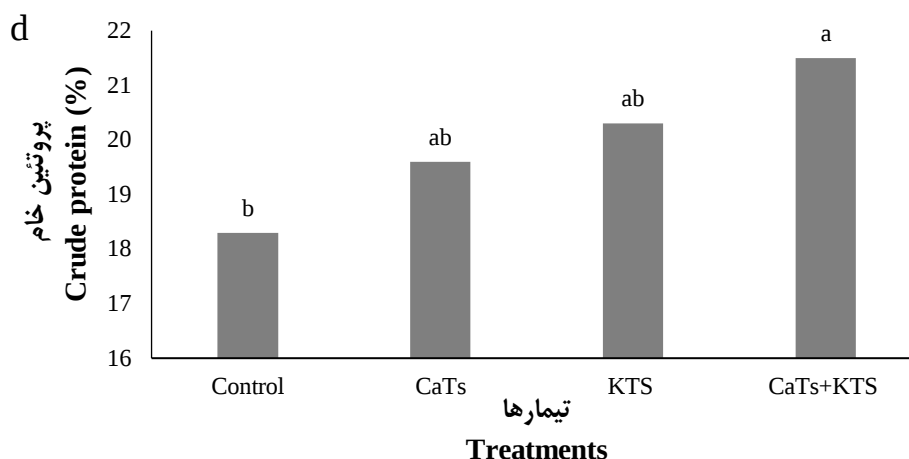
تجزیه واریانس داده های مربوط به فیبر خام، پروتئین کل و چربی خام میوه اختلاف معنی داری را بین تیمارها در سطح یک درصد نشان داد، در حالی که اثر تیمارها بر میزان خاکستر میوه ها از نظر آماری معنی دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان فیبر خام در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم و کمترین میزان آن در شاهد مشاهده شد. اگرچه از نظر آماری اختلاف معنی داری بین میزان خاکستر تیمارها و شاهد وجود نداشت، با این حال میزان خاکستر در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم کمتر از نمونه های شاهد بود و مقدار

گردو حاوی اشکال مختلف مواد آنتی اکسیدانی مانند ترکیبات فنلی و توکوفرول است (Stampar et al., 2006). ترکیبات فنلی یکی از مهم ترین آنتی اکسیدان ها در گیاهان هستند و اغلب به صورت فلاونوئیدها، جینجرول ها و پلی فنلیک اسید یافت می شوند. آن ها حاوی حلقه های معطر هستند که در فعالیت آنتی اکسیدانی نقش دارند. ترکیبات فنلی همچنین می توانند به رادیکال های آزاد اکسیژن آسیب برسانند و با اتصال به رادیکال های لیپیدی آلکوکسیل، پراکسیداسیون لیپیدی را مهار کنند. فلاونوئیدها همچنین توسط پراکسیداز اکسید می شوند و در تخریب پراکسید هیدروژن نقش دارند (Sharma et al., 2013). میزان فنل و فلاونوئید گردو با تیمار تلفیقی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به طور معنی داری افزایش یافت. آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز آنزیم اصلی در تولید ترکیبات فنلی است که افزایش فعالیت آن موجب افزایش ترکیبات فنلی می شود. کلسیم از طریق استحکام غشاء موجب کاهش تنش اکسیداتیو در غشاء شده و با استحکام غشاء و دیواره سلولی، تخریب و کاهش ترکیبات فنلی را به تأخیر می اندازد (Wang et al., 2024). پتاسیم نیز با کاهش تنش اکسیداتیو، حذف پراکسید هیدروژن و کاهش تولید اتیلن موجب افزایش آنتی اکسیدان کل، فنل و فلاونوئید کل شده است (Puerta-Gomez & Cisneros-Zevallos, 2011). پتاسیم به همراه کلسیم و عناصر دیگر نقش مهمی در کیفیت میوه ها و سبزی ها و افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی آن ها دارد. علت اصلی افزایش مواد آنتی اکسیدانی به دلیل اثر مستقیم پتاسیم بر مقادیر مواد آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی مانند فنل کل و فلاونوئید کل می باشد. پتاسیم با افزایش

تیوسولفات پتاسیم به‌تنهایی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش چربی خام میوه گردو نسبت به شاهد (۶۵/۶ درصد) شدند (شکل ۳).

خاکستر در میوه‌های شاهد ۲/۱ درصد گزارش شد. تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم، بیشترین میزان پروتئین را داشت و کمترین میزان آن در شاهد به دست آمد. تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم و تیمار





شکل ۳- محتوی فیبر خام (a)، چربی خام (b)، خاکستر (c) و پروتئین خام (d) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

Figure 3- The cured fiber (a), crude lipid (b), ash (c) and crude protein (d) content of 'Chandler' walnut fruit affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination (DMRT, $p \leq 0.05$)

جذب و انتقال عناصر غذایی مرتبط است. با افزایش جذب عناصر غذایی، میزان پروتئین سازی در گیاه افزایش یافته، از این رو میزان پروتئین کل نیز افزایش می یابد (Rasool et al., 2013). کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای تیوسولفات موجب افزایش جذب عناصر کم مصرف مانند روی شده که این عنصر در ساختمان برخی پروتئین ها و در متابولیسم نیتروژن شرکت می کند و از این طریق نیز میزان پروتئین کل افزایش می یابد (Emam & Semida, 2020). همچنین گوگرد در ساختمان اسیدهای آمینه شرکت داشته و علاوه بر این در تقسیم سلولی، افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و مواد تنظیم کننده رشد از منبع به مخزن نقش مهمی دارد و موجب افزایش تولید پروتئین در گیاهان می شود (Devi et al., 2012). پتاسیم موجب افزایش پروتئین خام در انگور شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Wang et al., 2024). میزان چربی در گیاهان تحت کنترل عوامل ژنتیکی و محیطی بوده، اما فراهمی عناصر ضروری در مرحله حساس گیاه می تواند بر میزان فتوسنتز و تولید متابولیت های گیاه تأثیر گذاشته و در نهایت به افزایش میزان روغن کمک کند (Fanaei et al., 2011). در مطالعه ای، استفاده از کودهای پتاسیمی موجب افزایش میزان چربی در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Afridi et al., 2002). پتاسیم با فعال سازی آنزیم ها و کوفاکتورهای موجود در مسیر بیوسنتز چربی موجب افزایش میزان چربی در کلزا و خردل شده است (Fanaei et al., 2013). در مطالعه ای دیگر، گوگرد با افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی و نیتروژن موجب افزایش میزان چربی در کلزا شده است (Ahmad et al., 2007).

فیبر خام، بخش غیرقابل هضم باقی مانده از مواد گیاهی است که پس از استخراج با حلال و هضم با اسید و باز، باقی می ماند. مقدار سلولز، همی سلولز و لیگنین غیرقابل هضم در غذاهای گیاهی، در رژیم غذایی به عنوان فیبر خام اندازه گیری می شود. فیبر خام موجود در گردو می تواند به مدیریت وزن بدن، جلوگیری از یبوست، بهبود سلامت روده و کاهش خطر بیماری قلبی و دیابت نوع ۲ و بسیاری از بیماری های دیگر کمک کند (Shahidi & Zhong, 2005). کلسیم یکی از ترکیبات مهم در ساختمان دیواره سلولی است و در تقسیم سلولی نقش مهمی دارد و موجب افزایش میزان فیبر خام در گیاه می شود (Conway & Sams, 1978). سولفات پتاسیم موجب افزایش فیبر خام در انگور شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Zareei et al., 2018). در این مطالعه، همه تیمارهای حاوی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم موجب افزایش میزان فیبر خام میوه گردو در مقایسه با شاهد شدند. افزایش میزان فیبر خام در گیاهان به عوامل مختلفی بستگی دارد. افزایش جذب و انتقال مواد غذایی، یکی از عوامل مهم در افزایش فیبر خام در گیاهان است که به نظر می رسد جذب و انتقال سریع ترکیبات حاوی تیوسولفات ها منجر به بهبود تولید فیبرها شده است. خاکستر دارای عناصر معدنی مختلفی می باشد که با جذب این عناصر غذایی میزان خاکستر افزایش می یابد. در مطالعات مختلف، نتایج متفاوتی از تأثیر کودهای شیمیایی بر افزایش میزان خاکستر به دست آمده است. در این مطالعه، کودهای تیوسولفات پتاسیم و کلسیم اثر معنی داری بر افزایش میزان خاکستر نداشتند. پروتئین کل، مجموعه ای از پروتئین های حقیقی و ترکیبات نیتروژن دار غیرپروتئینی است. افزایش پروتئین در اثر استفاده از کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به دسترس بودن مواد غذایی و افزایش

تیوسولفات‌ها، نقش مهمی در انتقال مواد غذایی در گیاهان ایفا می‌کنند. این ترکیب حاوی گوگرد است که برای سلامت و رشد گیاه ضروری بوده و در ساختار اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، روغن‌ها و کلروفیل نقش دارد. تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به دلیل داشتن پتاسیم و کلسیم سریع‌الجذب و گوگرد، برای عملکرد حیاتی گیاه مانند تحمل تنش، مدیریت آب، فعالیت آنزیم‌ها و انتقال مواد مغذی بسیار مفید است و موجب سنتز ترکیبات بیوشیمیایی مانند فنل، فلاونوئید می‌شود (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

اسیدهای چرب در میوه گردو (اسیدپالمیتیک، اولئیک، لینولئیک، لینولنیک، پالمیتیک و استئاریک)

تجزیه واریانس لینولئیک و اسیداولئیک میوه گردو اختلاف معنی‌داری را بین تیمارها در سطح یک درصد نشان داد، اما اثر تیمارها بر سایر اسیدهای چرب میوه‌ها (اسیدپالمیتیک، لینولنیک، پالمیتیک و استئاریک) معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم به‌طور معنی‌داری موجب افزایش میزان اسیدلینولئیک شدند، به‌طوری‌که بیشترین میزان لینولئیک در تیمارهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم تنها مشاهده شد و کمترین میزان لینولئیک نیز مربوط به نمونه‌های شاهد بود. به‌علاوه مشخص شد که در منطقه خرمدره، بیشترین میزان اسید چرب موجود در مغز گردو اسیدلینولئیک می‌باشد که بیش از ۵۰ درصد اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهد که با یافته‌های سایر محققان در مورد اسید چرب غالب گردوی رقم چندلر مطابقت دارد. بیشترین میزان اسیداولئیک در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم و کمترین میزان آن در در شاهد مشاهده شد. تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم (۱۹/۴ درصد) موجب افزایش اسیداولئیک میوه گردو نسبت به شاهد شد (شکل ۴).

بررسی سایر اسیدها نیز در گردوی رقم چندلر تولیدشده در شرایط منطقه خرمدره نشان داد که میزان لینولنیک گردوهای تولیدشده در شرایط اقلیمی منطقه در تیمارهای مختلف کودی ۱۳/۹-۱۲/۱ درصد، اسیدپالمیتیک ۶/۱-۴/۰۱ درصد و اسیداستئاریک هم ۴/۰۱-۲/۶ درصد بود (جدول ۴). نتایج این مطالعه از نظر مقادیر نسبی اسیدهای چرب با گزارش‌های گودرزی و همکاران (Goodarzi et al., 2023) مطابقت دارد. در اغلب موارد در تیمارهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم، مقدار اسیدهای چرب جزئی بالاتر بوده است، اما اثر معنی‌داری نشان نداده‌اند. بااین‌حال، اطلاعات این بخش در مورد میزان اسیدهای چرب تولیدشده در این منطقه در باغات گردوی حاصل از رقم تجاری چندلر ارزشمند بوده و نشان می‌دهد که تأثیر نوع رقم و شرایط اقلیمی منطقه در تجمع اسیدهای چرب در محصول گردو بیشتر از نوع تغذیه می‌باشد.

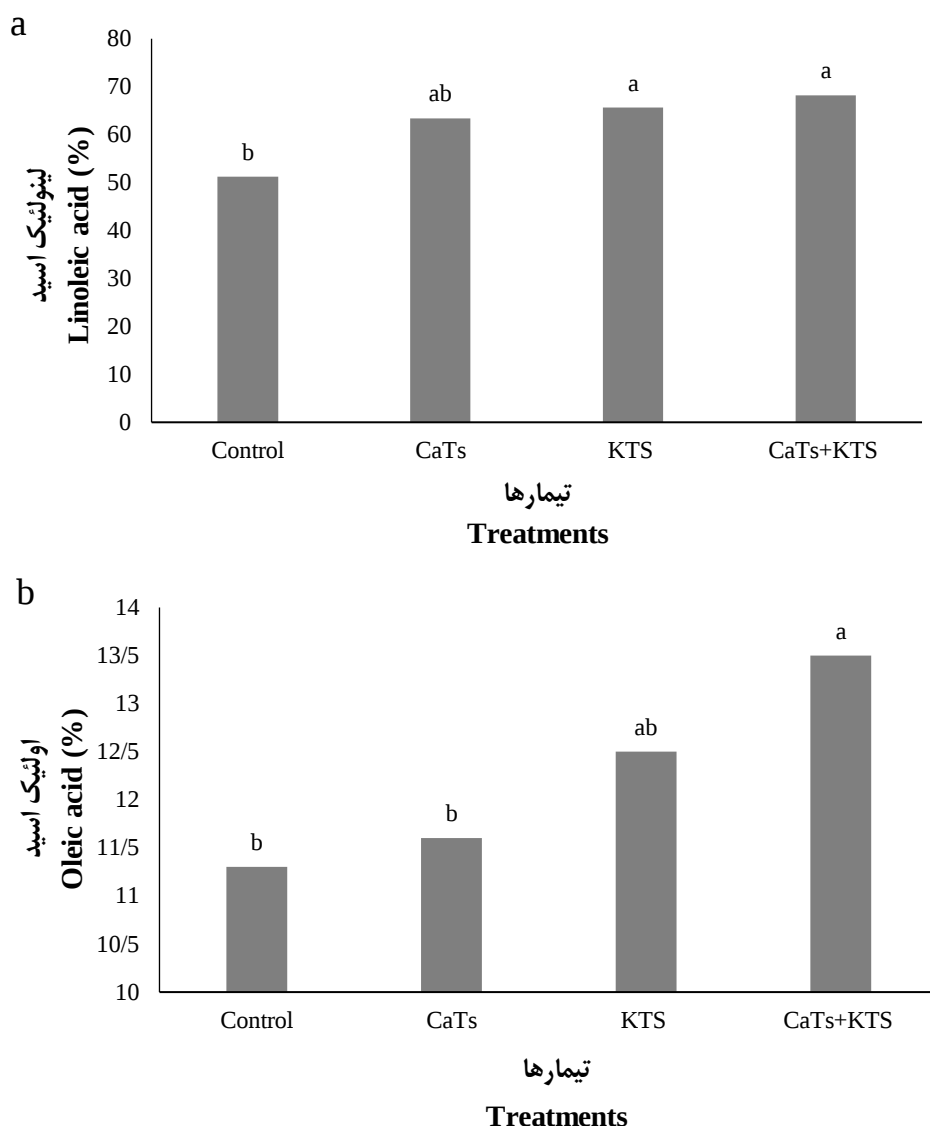
نتایج مختلف نشان داده است که اسیدلینولئیک، اسید چرب غالب در میوه گردو است. پس از آن، اسیدهای چرب اسیدلینولنیک، اسیداولئیک، پالمیتیک و اسیداستئاریک در رده‌های بعدی قرار دارند (Goodarzi et al., 2023; Ozkan & Koyuncu, 2005). در این پژوهش، کاربرد تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات کلسیم با افزایش میزان عناصر غذایی مانند گوگرد، پتاسیم و کلسیم موجب افزایش کیفیت روغن و افزایش اسیدهای چرب غالب موجود در گردو مانند اسیدلینولئیک شده است. عناصر غذایی مختلف موجب افزایش اسیدهای چرب متفاوت در گیاهان می‌شود، در گزارشی استفاده از سولفات کلسیم موجب افزایش اسیداولئیک در زیتون شده است (Desouky, 2009). در گزارشی دیگر، استفاده از سولفات پتاسیم موجب افزایش اسیداولئیک و اسیدلینولئیک شده است (Mahmoud et al., 2017) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

جدول ۴- محتوی اسیدهای چرب میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

تیمار Treatment	اسید استئاریک Stearic acid	اسید پالمیتیک Palmitic acid	اسید لینولئیک Linolenic acid
شاهد Control	2.6 ^{a*}	4.07 ^a	12.1 ^a
تیوسولفات کلسیم CaTs	3.2 ^a	4.01 ^a	13.4 ^a
تیوسولفات پتاسیم KTS	3.7 ^a	4.4 ^a	13.6 ^a
تیوسولفات کلسیم+تیوسولفات پتاسیم CaTs + KTS	4.01 ^a	6.1 ^a	13.9 ^a

* در هر ستون، میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

* In each column means with one common letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% probability level.



شکل ۴- محتوی اسیدلینولئیک (a) و اسیداولئیک (b) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

Figure 4- The linoleic acid (a) and oleic acid (b) content of 'Chandler' walnut fruit affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination (DMRT, $p \leq 0.05$)

در این مطالعه، مصرف تیوسولفات و تأمین بهتر عناصر گوگرد، پتاسیم و کلسیم با افزایش جذب عناصر کم مصرف و بهبود فعالیت فتوسنتزی موجب افزایش سنتز متابولیت‌ها و در نهایت، افزایش اسیدهای چرب در میوه گردو شده است (Hegazi et al., 2011). گوگرد و تیوسولفات‌ها به‌طور مستقیم در سنتز اسید چرب در گیاهان نقش ندارد، اما به‌طور غیرمستقیم بر این فرآیند تأثیر می‌گذارد. تیوسولفات‌ها از طریق فعالیت احیاکننده، ریزمغذی‌ها را قابل جذب می‌کنند و همچنین در نیتریفیکاسیون (تبدیل آمونیوم به نیتрат) دخالت دارند که

عناصر غذایی مانند گوگرد، پتاسیم و کلسیم نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و فعالیت‌های آنزیمی، متابولیسم اسید نوکلئیک و کربوهیدرات‌ها، افزایش نقل‌وانتقال کربوهیدرات‌ها و مواد فتوسنتزی دارند (Saadati et al., 2013). دو منبع مهم برای آسمیلاسیون و تشکیل روغن وجود دارد. اولین مسیر، کربوهیدراتی است که پس از انجام فرآیند فتوسنتز در برگ تولید می‌شود و به میوه منتقل می‌گردد و مسیر دوم، کربوهیدراتی است که طی فرآیند فتوسنتز در میوه گردو تشکیل می‌شود که بعد از انجام فرآیندهای آنزیمی به اسید چرب تبدیل می‌شود (Connor & Fereres, 2010).

در نهایت بر سنتز اسیدهای چرب اثر می‌گذارند (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم به همراه تیوسولفات پتاسیم سبب افزایش صفات مختلف مرتبط با کیفیت و عملکرد گردو گردید. در کشاورزی مدرن، تأمین متعادل و به‌موقع عناصر غذایی برای دستیابی به حداکثر پتانسیل عملکرد و کیفیت محصول، امری حیاتی است. کود تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به دلیل فرمولاسیون منحصربه‌فرد خود، پتاسیم، کلسیم و گوگرد را به شکلی بسیار قابل دسترس در اختیار گیاه قرار می‌دهد. این محصول به دلیل عدم وجود کلراید، برای محصولات حساس بسیار مناسب است و به‌عنوان یک کود پتاسیم و کلسیم بدون کلر شناخته می‌شود. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای دارای بنیان تیوسولفات به‌خصوص ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌طور مؤثری باعث افزایش فنل و فلاونوئید کل، آنتی‌اکسیدان کل، پروتئین، چربی خام، برخی اسیدهای چرب مهم و وزن تر و خشک مغز میوه گردو رقم چندلر شدند. به‌علاوه عملکرد و کارایی عملکرد میوه، در نمونه‌های تحت تیمار کودهایی با بنیان تیوسولفات تا حدودی بهتر شده و بیشترین عملکرد و کارایی عملکرد در تیمار تیوسولفات کلسیم به دست آمد. تیمار ترکیبی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم موجب افزایش اسید چرب لینولئیک و اولئیک گردید. نتایج کلی نشان داد که استفاده از

تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌صورت ترکیبی باعث بهبود بسیاری از شاخص‌های فیزیولوژیکی میوه گردو گردید که در افزایش عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی میوه گردو مؤثرتر هستند. نقش پررنگ هزینه‌های تأمین نهاده در کنار سایر هزینه‌های اصلی و جانبی کشاورزی، لزوم به‌کارگیری روش‌ها و ابزارهای نوین را مشخص می‌کند که بتواند دقت را در کشاورزی افزایش داده و با استفاده از نهاده‌هایی با میزان جذب بالا، هم‌زمان با کاهش مصرف نهاده‌ها موجب افزایش کیفیت و کمیت محصول شده و از آلودگی-های زیست‌محیطی مصرف کودهای شیمیایی نیز بکاهد. مصرف کودهای تیوسولفات می‌تواند به کاهش هزینه‌های اقتصادی و خطرات زیست‌محیطی در کشاورزی کمک نماید و همچنین تیوسولفات‌ها با بهبود کارایی نیتروژن و کاهش نیاز به مصرف کود بیشتر، از هزینه‌های اقتصادی و آلودگی محیط زیست جلوگیری می‌کنند. اگرچه قیمت این کودها تا حدودی بیشتر از کودهای معمولی است، با این حال با توجه به کاهش حجم کودهای مصرفی، افزایش جذب و افزایش کمیت و کیفیت محصول منجر به افزایش سود کشاورز و کاهش هزینه تولید خواهد شد. لذا استفاده از کودهای با بنیان تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌صورت آب آبیاری برای افزایش خواص کیفی و عملکرد گردو رقم چندلر در شرایط و آب‌وهوایی شهرستان خرمدره در استان زنجان قابل توصیه می‌باشد. به‌علاوه با توجه به شرایط آهکی خاک‌های ایران، ارزیابی این کودها در باغ‌های گردو با میزان بالای آهک توصیه می‌شود.

References

- Al-Yousif, A., & Al-Miahy, M. (2007). Effect of calcium on *Jujube Ziziphus* sp. fruit growth & their resistance to jujube fruit fly *Carpomyia incompleta*. *Journal of Kerbala University*, 3(2), 106-113.
- Afridi, M. Z., Jan, M. T., & Shad, A. A. (2002). Some aspects of NPK nutrition for improved yield and oil contents of canola. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5, 507-509. <https://doi.org/10.3923/ajps.2002.507.509>
- Ahmad, G., Jan, A., Arif, M., Jan, M. T., & Khattak, R. A. (2007). Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8(10), 731-737. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0731>
- Anonymous. (2019). Organization, I.N.S., Biscuit specifications and test methods. Iranian National Standard.
- Anonymous. (2023). Agriculture Statistic of Iran. Deputy Planning and Economic, Ministry of Agriculture-Jahad, Iran.(in Persian). Retrieved 11 July 2018..from <https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj194-95-site.pdf>.
- Awad, M. A., Soaud, A. A., Badawi, M. A., & Eshkandi, O. H. (2003). Effect of elemental sulfur, chemical and organic fertilizers on nutrient uptake, yield and fruit quality of date palm trees (*Phoenix dactylifera* L.) cv. 'Neghal'. The 7th Annual U.A.E. University Research Conference, p. 34-39.
- Bilgin, N. (2021). Effects of foliar applications on nutrient concentrations of kernel, pomological properties and yield of 'Chandler' walnut variety at different altitudes. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 28(4), 603-614. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.925268>
- Bilgin, N. A. (2022). Effects of foliar applications on nutrient concentrations of kernel, pomological properties and yield of Chandler walnut variety at different altitudes. *Journal of Agricultural Sciences*, 28(4), 603-612. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.92526>
- Bound, S., & Wilson, J. (2004). Response of two apple cultivars to potassium thiosulphate as a blossom thinner. *IX International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production*, p. 36-62. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.653.9>

10. Boyd, D. A. (2016). Sulfur and its role in modern materials science. *Angewandte Chemie International Edition*, 55(50), 15486-15502. <https://doi.org/10.1002/anie.201604615>
11. Connor, D. J., & Fereres, E. (2010). The Physiology of Adaptation. *Horticultural Reviews*, 31(31), 155
12. Conway, W. S., & Sams, C. E. (1987). The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium, or strontium on decay, firmness, respiration, and ethylene production in apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(2), 300-303. <https://doi.org/10.21273/JASHS.112.2.300>
13. de Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S. M. P. M., & de Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, 94(3), 327-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>
14. Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex: Synthesis, spectral characterisation and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 131(2), 422-426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.074>
15. Desouky, I. M. (2009). Effect of boron and calcium sprays on fruit set, oil content and oil quality of some olive oil cultivars IM Desouky, "Laila F. Haggag, MMM Abd El-Migeed" FFM Kishk and "ES. El-Hady" Department of Faculty of Agriculture, Ain Shams University, Shoubra El-Kheima, Cairo, Egypt "Department of Pomology, National Research Centre, El-Tharir St., Dokki, Egypt. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(2), 180-185.
16. Devi, K. N., Singh, L. N. K., Singh, M. S., Singh, S. B., & Singh, K. K. (2012). Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 1. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n4p1>
17. Droux, M. (2004). Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: A survey. *Photosynthesis Research*, 79(3), 331-348. <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000017196.95499.11>
18. El-Badawy, H. E. M. (2019). Implication of using potassium and magnesium fertilization to improve growth, yield and quality of crimson seedless grapes (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Plant Production*, 10(2), 133-141. <https://doi.org/10.21608/jpp.2019.36243>
19. Emam, S. M., & Semida, W. M. (2020). Foliar-applied Amcoton® and potassium thiosulphate enhances the growth and productivity of three faba beans varieties by improving photosynthetic efficiency. *Archives of Agriculture and Environmental Sciences*, 5(2), 89-96. <https://doi.org/10.26832/24566632.2020.050202>
20. Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M., Bonjar, A. G., & Shirani-Rad, A. H. (2011). Effect of drought stress and potassium on solutes accumulation and chlorophyll of canola (*B. napus* L.) and Indian mustard (*B. juncea* L.). *JWSS-Isfahan University of Technology*, 15(57), 141-156. (In Persian with English abstract)
21. Fanaei, H., Galavi, M., Kafi, M., & Shirani-Rad, A. H. (2013). Interaction of water deficit stress and potassium application on potassium, calcium, magnesium concentration and oil of two species of canola (*Brassica napus*) and mustard (*Brassica juncea*). *Water and Soil Science*, 23(3), 261-275. (In Persian with English abstract)
22. FAO. (2022). FAO statistical database. Available at: <http://apps.fao.org>
23. Gaaliche, B., Ladhari, A., Zarrelli, A., & Mimoun, M. B. (2019). Impact of foliar potassium fertilization on biochemical composition and antioxidant activity of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, 253, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.024>
24. Germain, E., Prunet, Y., & Garcin, A. (1999). Le noyer. Centre Technique Interprofession des Fruits et Légumes Press: 279, 45-61.
25. Ghesmati, M., Moradinezhad, F., & Khayyat, M. (2017). Effects of foliar application of calcium nitrate and calcium chloride on antioxidant properties and quality of *Ziziphus jujuba* Mill. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 23, 871-881. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.111043.2059>
26. Golzari, M., Rahemi, M., Hassani, D., Vahdati, K., & Dalalppur, M. N. (2013). Protein content, fat and fatty acids of kernel in some Persian walnut (*Juglans regia* L.) cultivars affected by kind of pollen. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 38(10), 15-18.
27. Gonzalez, S., Duncan, S. E., O'Keefe, S. F., Sumner, S. S., & Herbein, J. H. (2003). Oxidation and textural characteristics of butter and ice cream with modified fatty acid profiles. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 70-77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73585-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73585-1)
28. Goodarzi, H., Hassani, D., Pourhosseini, L., Kalantari, S., & Lashgari, A. (2023). Total lipid and fatty acids components of some Persian walnut (*Juglans regia*) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 321, 112252. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112252>
29. Hafsi, C., Debez, A., & Abdelly, C. (2014). Potassium deficiency in plants: Effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(5), 1055-1070. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1491-2>
30. Hassani, D., Sarikhani, S., Dastjerdi, R., Mahmoudi, R., Soleimani, A., & Vahdati, K. (2020). Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran. *Scientia Horticulturae*, 270, 109369. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109369>

31. 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.
32. Jamaly, R., Parent, S., Ziadi, N., & Parent, L. (2023) Short-term impact of elemental sulfur on cranberry nutrition and crop performance. *Open Journal of Soil Science*, 13, 83-96. <https://doi.org/10.4236/ojss.2023.132004>.
33. Kaviani, B., Ansari, R., Babaei, S. K., Aboksari, H. A., Ansari, M. H., & Akhgari, H. (2023). Effect of combined foliar application of calcium and potassium on the shelf life and quality of Thomson Navel orange. *Journal of Plant Production*, 63-82. <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19143.2827>
34. Khorami, S. S., & Vahdati, K. (2019). Determination of Persian walnut yield components and its correlation with phenological, morphological and biochemical traits. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 6(3), 549-560. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.260251.1474>
35. Lanauskas, J. & Kvikliene, N. (2006). Effect of calcium foliar application on some fruit quality characteristics of 'Sinap Orlovskij' apple. *Agronomy Research*, 4(1), 31-36.
36. Mahmoud, T. S. M., Mohamed, E. S. A., & 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, 209-220. <https://doi.org/10.3923/ajft.2017.209.220>
37. Malakoti, M. J. (2000). The role of calcium and zinc in increasing the yield and improving the quality of apple trees "Calcium and zinc are vital and forgotten elements in the proper nutrition of fruit orchards in the country. The Second Iranian Congress of Horticultural Sciences. Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
38. Moradi, B., Raeisei, T., & Shahnazari, S. (2016). The effect of different fertilization methods on the quantitative and qualitative characteristics of kiwi fruit. *Soil Research Journal*, 30(3), 237-248. (In Persian)
39. Morales, J., Martínez-Alcántara, B., Bermejo, A., Millos, J., Legaz, F., Quiñones, A. (2023). Effect of calcium fertilization on calcium uptake and its partitioning in citrus trees. *Agronomy*, 13, 2971. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122971>
40. Moosavi-Nezhad, M., Homayoonzadeh, M., Tsaniklidis, G., Roessner, U., Woltering, E., Fanourakis, D., Aliniaiefard, S. (2024). Enhancing shelf life of bell peppers through preharvest fertigation with calcium and potassium thiosulfate: A focus on antioxidant and cell wall degradation enzymes. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2(8), 45-63. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101262>
41. Mudau, F. N., Soundy, P., & Du Toit, E. S. (2007). Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition on total polyphenol content of bush tea (*Athrixia phylicoides* L.) leaves in shaded nursery environment. *HortScience*, 42(2), 334-338. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.2.334>
42. Nazoori, F., ZamaniBahramabadi, E., Mirdehghan, H., & Yousef, M. (2022). Preharvest application of sulfur as pesticide on fresh hull and kernel of pistachio (*Pistacia vera* L.). *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 117-129. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.313206.408>
43. Nguyen, P. M., Kwee, E. M., & Niemeyer, E. D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, 123(4), 1235-1241. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.092>
44. Oskonbaeva, Z., Joergensen, R. G., & Wichern, F. (2024). Influence of soil extractable plant nutrients on the walnut kernel ionome in Southern Kyrgyzstan at different elevations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02122-z>
45. Ozkan, G., & Koyuncu, M. A. (2005). Physical and chemical composition of some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes grown in Turkey. *Grasas y Aceites*, 56(2), 141-146. <https://doi.org/10.3989/gya.2005.v56.i2.122>
46. Pandey, G. K., & Mahiwal, S. (2020). Role of Potassium in Plants (Vol. 49). Chamistry, Switzerland: Springer.
47. Puerta-Gomez, A. F., & Cisneros-Zevallos, L. (2011). Postharvest studies beyond fresh market eating quality: Phytochemical antioxidant changes in peach and plum fruit during ripening and advanced senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 220-224. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.01.005>
48. Rabari, K., Souri, M., & Roozban, M. (2023). Exogenous calcium improves growth and physiological responses of pistachio rootstocks against excess boron under salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 46, 2-18. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2224817>
49. Rasool, F. U., Hasan, B., Jahangir, I. A., Ali, T., & Mubarak, T. (2013). Nutritional yield and economic responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to integrated levels of nitrogen, sulphur and farmyard manure. *Open Research Repository*, p. 73-78. <https://doi.org/10.4038/jas.v8i1.5373>
50. Rouhi, V., Nikbakht, A., & Hooshmand, S. (2015). Effect of sodium chloride concentrations and Its foliar application time on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) cv. "Malas Saveh". *Journal of Horticultural Science*, 29(2), 158-167. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.26271>

51. Saadati, S., Moallemi, N., Mortazavi, S. M. H., & Seyyednejad, S. M. (2013). Effects of zinc and boron foliar application on soluble carbohydrate and oil contents of three olive cultivars during fruit ripening. *Scientia Horticulturae*, 164, 30-34. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.033>
52. Santos, E., Montanha, G. S., Agostinho, L. F., Polezi, S., Marques, J. P. R., & de Carvalho, H. W. P. (2023). Foliar calcium absorption by tomato plants: Comparing the effects of calcium sources and adjuvant usage. *Plants*, 12(14), 2587. <https://doi.org/10.3390/plants12142587>
53. Shahidi, F., & Zhong, Y. (2005). Lipid oxidation: Measurement methods. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. <https://doi.org/10.1002/047167849X.bio050>
54. Sharma, R. R., Singh, C. N., & Goswami, A. M. (2001). Polyphenol oxidase activity in mango (*Mangifera indica* L.) in relation to flowering behaviour and the malformation incidence. *Fruits*, 56(4), 219-224. DOI: <https://doi.org/10.1051/fruits:2001124>
55. Sharma, R. R., Singh, D., & Pal, R. K. (2013). Synergistic influence of pre-harvest calcium sprays and postharvest hot water treatment on fruit firmness, decay, bitter pit incidence and postharvest quality of royal delicious apples (*Malus x domestica* Borkh). *American Journal of Plant Sciences*, 4(1), 153-159. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.41020>
56. Simonne, E. H., Jones Jr, J. B., Mills, H. A., Smittle, D. A., & Hussey, C. G. (1993). Influence of catalyst, sample weight, and digestion conditions on Kjeldahl nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24(13-14), 1609-1616. <https://doi.org/10.1080/00103629309368904>
57. Singh, B., & Usha, K. (2001, September). Effect of macro and micro-nutrient spray on fruit yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. In International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants 594. pp. 197-202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.21>
58. Stampar, F., Solar, A., Hudina, M., Veberic, R., & Colaric, M. (2006). Traditional walnut liqueur-cocktail of phenolics. *Food Chemistry*, 95(4), 627-631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.035>
59. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.035>
60. Wang, Q., Liao, Y., Zhao, W., Yi, T., Jiang, Y., Zhu, G., Sun, Y., Wang, Q., Chen, F., Zhang, & PRui, Y. (2024). Potassium-based nanomaterials significantly enhance nutrient utilization efficiency and promote high crop yields. *Environmental Science: Nano*, 11(7), 2906-2922. <https://doi.org/10.1039/D4EN00148F>
61. Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S., & Jiang, Y. (2020). Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11, 904. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904>
62. Yu, J., Zhu, M., Bai, M., Xu, Y., Fan, S., & Yang, G. (2020). Effect of calcium on relieving berry cracking in grape (*Vitis vinifera* L.) 'Xiangfei'. *Reviewed and Open Access Journal*, 8, e9896. <https://doi.org/10.7717/peerj.9896>
63. Zareei, E., Javadi, T., & Aryal, R. (2018). Biochemical composition and antioxidant activity affected by spraying potassium sulfate in black grape (*Vitis vinifera* L. cv. Rasha). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5632-5638. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9107>