

Effects of Calcium and Potassium Thiosulfate Applications Compared to Sulfate Fertilizers on Leaf and Fruit Nutrient Concentrations and Pomological Traits of Walnut (cv.Chandler)

Abstract

Iranian walnut (*Juglans regia* L.) is one of the most important orchard products in Iran. Increasing yield and improving fruit quality along with higher weight is the main goal of walnut producers around the world. To evaluate the effect of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate on improving walnut fruit quality, a study was conducted using a randomized complete block design with three replicates in a six-year-old research orchard of tissue-cultured (self-rooted) Chandler cultivar at the Khoram Dareh Agro-Industry. The experimental treatments included: Calcium thiosulfate (100 liters per hectare), Potassium thiosulfate (100 liters per hectare), A combination of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate, Standard orchard nutrition as the control (including 50 kg/ha of calcium potassium nitrate + 50 kg/ha of potassium sulfate + 150 kg/ha of Solopotash + 7.5 liters/ha of high-potassium fertilizer). Results showed that the combined treatment of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate significantly improved the quantitative and qualitative traits of the fruit. This treatment resulted in increasing: Fruit dry matter (5.3%), Fresh fruit weight (26%), Dry fruit weight (32.6%), horizontal diameter (8.2%), Lateral diameter (6.4%), Fruit length (11.2%) in compared to the control. The highest levels of leaf nitrogen, potassium, and phosphorus were also observed in the treatment combining potassium thiosulfate and calcium thiosulfate. In conclusion, the combined use of potassium thiosulfate and calcium thiosulfate is recommended to increase the yield and quality of Chandler walnut fruit.

Keywords: Walnut fruit, qualitative traits, dry matter, Nutrient

Extended Abstract

Introduction

Potassium (K) and calcium (Ca) are the main nutrients absorbed from the soil solution. The physiological functions of K in plants are numerous, including enzymatic activation, osmoregulation, and synthesis of carbohydrates, nucleic acids and proteins (Demiral and Köseoglu, 2005). The Ca, in its turn, has important functions in plant nutrition, which range from being a stabilizing element of the cell wall to becoming a secondary messenger in the cytoplasm (Le *et al.*, 1994). Ca and potassium in soil is not only affected by the amount of other fertilizer but also by the type of fertilizer (Le *et al.*, 1994). The Persian walnut (*Juglans regia* L.) is one of the most important horticultural crops grown in Iran. Increasing fruit yield and improving fruit quality with high weight, is the main goal of walnut in the world. Effective nutrient management is a fundamental principle of sustainable agriculture. Given the importance of Ca and K on the crop nutrition, and considering not only productivity but also product quality, there is still uncertainty with respect to the nutritional management for walnut tree production. However, it should be taken into account that for an optimal nutritional management, fertilizer ratios should be modified according to the of the crop (Bar-Yosef, 1999). This study aimed to investigate the effects of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate on walnut fruit yield and quality.

Materials and methods

The research was conducted using a randomized complete block design with three replicates at the research orchard in Khormadareh Agro-Industry CO, located in the Zanzan province. The treatments included the application of calcium thiosulfate at a rate of 100 liters per hectare, potassium thiosulfate at a rate of 100 liters per hectare, a combination of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate, and a control group. The studied traits included fruit length, fruit width, number of fruit per branch, fruit fresh and dry weight, dry matter of fruit, leaf and fruit nutrient and yield. For each walnut fruit, three linear dimensions were measured by using a digital caliper with the accuracy of 0.001 mm, including major diameter (Length), intermediate diameter (Width) and minor diameter (Thickness). The fruit fresh and dry weights were measured using an electronic balance. The kernel was then excised and the kernel dry weight was measured and it was used to measure percentage kernel weight and yield. Nutrient elements in leaf and fruit analyzed by Perkin-Elmer (1982) method.

Results and Discussion

The results demonstrated that all treatments were efficient in preserving the quality and improving walnut fruit production. In addition, the combination of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate resulted in a significant increase in various parameters compared to the control. These parameters include dry matter, fresh nut weight and dry nut weight, horizontal diameter, lateral diameter and length of fruit. The control group exhibited the lowest levels of iron %. The highest of P and K and N of leaves was measured in calcium thiosulfate in conjunction with potassium thiosulfate treatment. This is further supported by the fact that it was found that with very high concentrations of K, the fruit quality increased and yield of fruit increased (Vásquez *et al.*, 2005). The increment of K and Ca increased weight of fruit and horizontal diameter (Silva *et al.*, 2007).

Conclusions

The current findings indicated the importance of these essential elements (Ca and K) in walnut orchards. According to the findings, the application of calcium thiosulfate in conjunction with potassium thiosulfate had beneficial effects on the absorption of other elements and could therefore improve yield in walnut orchards chandler cultivars. Use of calcium thiosulfate in conjunction with potassium thiosulfate can enhance some physical and physiological traits of the fruit, leading to improved quality and quantity of walnut fruit.

تأثیر کاربرد تیوسولفات‌های کلسیم و پتاسیم در مقایسه با کودهای سولفات‌ها بر غلظت عناصر غذایی برگ، میوه و

صفات میوه‌ی گردو رقم چندلر

چکیده:

گردوی ایرانی (*Juglans regia* L) یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران است. افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه توأم با وزن بالا، هدف اصلی تولیدکنندگان میوه گردو در سراسر جهان می‌باشد. به منظور ارزیابی تأثیر تیوسولفات‌های کلسیم و تیوسولفات پتاسیم بر افزایش کیفیت میوه گردو تحقیقی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در باغ تحقیقاتی ۶ ساله رقم چندلر کشت بافتی (خود ریشه زا) در کشت و صنعت خرمدره اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیوسولفات کلسیم (۱۰۰ لیتر در هکتار)، تیوسولفات پتاسیم (۱۰۰ لیتر در هکتار)، تیمار تیوسولفات کلسیم به علاوه تیوسولفات پتاسیم و تغذیه استاندارد باغ به عنوان شاهد (نیترا پتاسیم کلسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + سولفات پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + سولوپتاس ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود پتاس بالا ۷/۵ لیتر در هکتار) بود. نتایج نشان داد تیمار تیوسولفات کلسیم به علاوه تیوسولفات پتاسیم به طور مؤثری باعث بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی میوه شد به طوری که ماده خشک میوه (۵/۳٪)، وزن تر میوه (۲۶٪) و وزن خشک میوه (۳۲/۶٪)، عرض شکمی (۸/۲٪)، عرض جانبی (۶/۴٪) و طول میوه (۱۱/۲٪) میوه گردو رقم چندلر نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین میزان نیتروژن، پتاسیم و فسفر برگ در تیمار تیوسولفات پتاسیم به علاوه تیوسولفات کلسیم مشاهده شد. نتایج کلی نشان داد استفاده از تیمار ترکیبی تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات کلسیم برای افزایش عملکرد و کیفیت میوه گردو رقم چندلر قابل توصیه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: میوه گردو، صفات کیفی، ماده خشک، عناصر غذایی

مقدمه

گردو از خانواده *Juglandaceae* و جنس *Juglans* pp. یکی از محبوب‌ترین و خوشمزه‌ترین آجیل‌ها در سراسر جهان محسوب می‌شود. مغز گردو، سرشار از اسیدهای چرب مفید، پروتئین‌ها و آنتی‌اکسیدان است. به همین علت استفاده از آن از بروز بیماری‌های قلبی، سرطانی، آلزایمر جلوگیری می‌کند. گردو حاوی مقادیر قابل توجهی از ویتامین‌های گروه B می‌باشد و در مقایسه با سایر خشک میوه‌ها (از قبیل بادام، شاه بلوط، فندق و پکان)، بیشترین میزان ویتامین B6 را دارا است (خدیوی، ۱۳۸۹). گردو گیاهی خزان‌دار و یک پایه با گل‌های تک‌جنسی است که گونه‌های مختلفی دارد. مهم‌ترین گونه این جنس *J. regia* بوده که تعداد کروموزوم پایه آن $x=n=16$ بوده و گیاهی دیپلوئید ($2n=32$) است (خدیوی، ۱۳۸۹). بر اساس آمار FAO در سال ۲۰۲۳ کشور چین با ۱/۱ میلیون تن به تنهایی بیش از ۳۰ درصد تولید گردوی دنیا را به خود اختصاص داده است و ایران با ۲۶۱ هزار تن مقام چهارم تولید گردو جهان را دارد. با اینکه ایران یکی از بزرگترین تولید کنندگان گردو جهان می‌باشد ولی هر سال مقدار زیادی از گردو تولید شده بازارپسندی مناسبی نداشته و قابلیت عرضه به بازار و یا صادرات را ندارد (Hassani et al., 2020). گردوی چندلر جزء ارقام بسیار پر طرفدار و مشهور در سراسر جهان به شمار می‌آید. از ویژگی‌های منحصر به فرد آن، سازگاری بسیار خوبی با اقلیم‌های مختلف و بسیاری از آفات و بیماری‌ها می‌باشد. میوه چندلر دارای ظاهری گرد و کروی با پوست به رنگ قهوه‌ای روشن و بسیار نازک است (Soleimani et al., 2023). مواد مغذی ماکرو و میکرو تأثیر مهمی در افزایش کیفیت و عملکرد گردو دارند (Acarsoy et al., 2023). مدیریت مواد مغذی یکی از اصول اساسی کشاورزی پایدار است. پتاسیم از جمله مواد مغذی لازم برای گلدهی و تشکیل میوه است. گونه‌های میوه آجیلی در طول دوره رشد میوه به مقدار زیادی پتاسیم نیاز دارند. محلول‌پاشی برگی به عنوان یک روش مؤثر و سریع از نظر تأمین پتاسیم گزارش شده است (Norozi et al., 2019). کلسیم یک عنصر ضروری برای رشد و بهره‌وری گیاه است که نقش مهمی در افزایش کیفیت میوه‌های آجیلی دارد (Kalorizou and Giannoulis, 2025).

پیشینه پژوهش

نیتروژن، فسفر و پتاسیم سه عنصر اصلی برای رشد گیاه هستند. اطلاعات محدودی در مورد عناصر مورد نیاز جهت رشد و افزایش کیفیت گردو وجود دارد. کلسیم عنصر مهمی است که در فعل و انفعالات آنزیمی شرکت کرده و در ایجاد توازن بین

آنیون‌ها و کاتیون‌ها سیتوپلاسمی نقش دارد. این عنصر در نفوذپذیری غشاهای سلول‌ها تأثیر داشته و بر مقدار جذب سایر عناصر غذایی موثر است. حداقل ۶۰ درصد کلسیم در گیاهان در دیواره سلولی قرار دارد. کلسیم موجود در دیواره سلولی از سلول‌ها در مقابل میکروب‌هایی که تلاش دارند با شکستن دیواره وارد سلول شوند، ممانعت می‌کند. همچنین کلسیم باعث انقباض سطوح غشاء سلولی می‌شود که در نتیجه سلول آب کمتری از دست می‌دهد. این عنصر در بافت‌های گیاهی غیرمتحرک بوده و تنها با حرکت آب در طی فرایند تعرق جابجا می‌شود. به همین دلیل انتقال این عنصر در درون بافت‌ها کند بوده و برای جلوگیری از بروز علائم کمبود باید بصورت پیوسته در دسترس گیاه قرار گیرد (Abbas et al., 2021).

در مطالعه‌ای تأثیر تیمار کلرید کلسیم در کیفیت و عملکرد میوه گردو رقم چندلر مورد بررسی قرار گرفت. میوه‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد، سنگین‌تر و از نظر ابعادی بزرگتر بودند. علاوه بر این، با تجزیه و تحلیل وزن و ضخامت پوسته سبز، درختان تیمار شده با کلرید کلسیم، پوسته‌های سبز سنگین‌تری داشتند. تیمار کلرید کلسیم موجب افزایش کیفیت و وزن تر گردو رقم چندلر شد (Kalogirou and Giannoulis, 2025).

در مطالعه‌ای دیگر تأثیر محلول‌پاشی با پتاسیم و کلسیم بر خصوصیات کیفی میوه سیب مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شده که تیمار ۵ گرم در لیتر کلرید کلسیم توانست وزن میوه و عناصر غذایی میوه را افزایش دهد. همچنین جذب پتاسیم به میزان قابل توجهی در حضور این تیمارها افزایش نشان داده و باعث بهبود خواص کیفی میوه شد (Solhjo, 2015). مطالعات متعدد نشان داده است که تیمار قبل از برداشت درختان میوه با کودهای کلسیمی در ارتقای صفات کیفی میوه بسیار مؤثر است. به طوری که کلسیم باعث استحکام بافت میوه و کاهش ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی شده و میزان فسادپذیری میوه را تا حد زیادی کاهش داده است. 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 and Kvikliene, 2006).

پتاسیم عنصر مهمی برای رشد و افزایش کیفیت محصولات باغبانی است. کمبود پتاسیم منجر به کاهش شدید رشد و عملکرد در گیاه می‌شود. کمبود پتاسیم واکنش‌های مختلفی را در سطوح مختلف مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان ایجاد می‌کند و موجب کاهش فتوسنتز، سرعت رشد برگ، کاهش مقاومت نسبت به تنش‌های زنده و غیر زنده گیاه می‌شود (Ashley et al., 2006). در مطالعه‌ای تأثیر پتاسیم در کیفیت و کمیت انگور بررسی شد. نتایج نشان داد که پتاسیم اثر معناداری بر عملکرد و اجزای آن داشته است. سطوح مختلف پتاسیم موجب افزایش تعداد خوشه، وزن خوشه و طول و عرض خوشه و مواد جامد محلول شد. نتایج نشان داد تیمار تغذیه‌ای پتاسیم رسیدن میوه را تسریع می‌کند و عملکرد و مقدار قند میوه را افزایش می‌دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳).

میوه‌های آجیلی مانند گردو بیشترین تقاضا برای پتاسیم در طول رشد میوه را دارند. در یک مطالعه‌ای تأثیر سولفات پتاسیم در افزایش کیفیت و عملکرد گردو انجام شد. تیمارها شامل T0 به عنوان شاهد با ۱۰۰٪ پتاسیم به عنوان کوددهی پایه؛ T1، ۸۰٪ پتاسیم به خاک و ۲۰٪ به صورت محلول‌پاشی و T2 معادل T0 و ۲۰٪ اضافی از دوز پتاسیم به صورت محلول‌پاشی است. نتایج نشان داد T2 نسبت به شاهد ۲۳ درصد عملکرد بیشتری داشت و صفات کیفی مانند رنگ و اندازه دانه نیز بهبود یافتند (Marchand, 2020). در مطالعه‌ای دیگر پتاسیم موجب افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش کیفیت و عملکرد میوه پسته شده است (Shool et al., 2023).

در مطالعه‌ای که در یک باغ گردوی ۱۰ ساله انجام شد، ۱۳ کود مختلف استفاده شد. طبق نتایج، ۷۵۰ گرم نیتروژن، ۳۷۵ گرم فسفر، ۷۵۰ گرم پتاسیم + ۵۰ کیلوگرم کود ورمی کمپوست موجب افزایش کیفیت و عملکرد گردو شد. کاربرد ۵۶۲ گرم نیتروژن، ۲۸۱ گرم فسفر، ۵۶۲ گرم پتاسیم + ۶۸ کیلوگرم کود ورمی کمپوست موجب افزایش عناصر غذایی برگ و میوه گردو شد (Bhattarai and Tomar, 2009).

گوگرد به عنوان یک ماده مغذی برای گیاهان دارای اهمیت فراوانی است. گوگرد با کاهش pH خاک اطراف ریشه موجب افزایش حلالیت و جذب عناصر غذایی خاک می‌شود. گوگرد در کشاورزی به همراه مواد معدنی دیگر همانند کلسیم و منیزیم می‌تواند نقش مفیدی در رشد طبیعی و باروری بیشتر گیاهان شود. به همین خاطر در حوزه‌های باغداری زراعت از کودهای گوگردی به وفور استفاده می‌شود (Narayan et al., 2023). بسیاری از متخصصان، گوگرد را در کشاورزی به عنوان یک ماده مغذی ثانویه می‌دانند که می‌تواند باعث متعادل نمودن نیتروژن، کلسیم، فسفر و پتاسیم در خاک شود. نقش گوگرد در کشاورزی هم به صورت طبیعی از هوا و هم به صورت سولفات و محلول در آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. وجود گوگرد در خاک باعث بزرگ‌تر شدن میوه‌ها می‌شود. از سوی دیگر میزان درصد روغن دانه‌های روغنی در گیاهان تغذیه شده با گوگرد افزایش یافته است (Zareei et al., 2013).

کود تیوسولفات کلسیم و پتاسیم دارای درصد بالایی از عنصر کلسیم، پتاسیم و گوگرد است که سرعت جذب از طریق برگ و ریشه گیاه را افزایش می‌دهد. این کود ترکیبی منحصر به فرد می‌باشد که در تمامی مراحل رشدی گیاه قابل استفاده است. در این تحقیق تأثیر کاربرد تیوسولفات‌های کلسیم و پتاسیم در مقایسه با کودهای سولفات بر غلظت عناصر غذایی برگ، میوه و صفات میوه‌ی گردو رقم چندلر مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ به مدت یک سال در باغات گردوی ۳۰۰ هکتاری شرکت کشت و صنعت دشت خرمدره واقع در استان زنجان، شهرستان خرمدره در عرض جغرافیایی $36^{\circ}25'$ شمالی و طول جغرافیایی $49^{\circ}25'$ شرقی و ارتفاع ۱۵۹۸ متر از سطح دریا انجام گرفت. درختان گردو در قطعه مورد آزمایش ۶ ساله بوده و با استفاده از نهال‌های کشت بافتی شرکت کشت و صنعت رعنا و رقم چندلر با فاصله 7×7 متر احداث شده است باغ مورد نظر در سال‌های اولیه باردهی اقتصادی قرار دارد.

شرایط خاک محل مورد مطالعه

بافت خاک باغ تا عمق یک متری لومی ماسه‌ای با ۱۵-۱۳٪ رس، ۲۴-۲۰٪ سیلت و ۶۵-۶۳٪ ماسه است. نتایج تجزیه شیمیائی خاک باغ قبل از اجرای آزمایش به شرح جدول ۱ می‌باشد.

اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری، EC با استفاده از هدایت سنج، pH با استفاده از پی‌اچ متر، TNV و کربن آلی به روش تیتراسیون، ماده آلی به روش گراویمتری، ازت به روش کج‌دلال، فسفر به روش اولسن، پتاسیم به روش فلیم فتومتر، آهن، روی، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون و گوگرد به روش اسپکتروفتومتر انجام شد.

در باغ درختانی به صورت تصادفی از وسط قطعه - اول قطعه - آخر قطعه - و سمت چپ و راست قطعه انتخاب سپس در محل سایه انداز چاله‌ای به عمق حدود ۱۰۰ سانتی‌متر حفر کرده و بعد از عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری به صورت جداگانه نمونه‌برداری انجام شد. سپس نمونه‌های خاک ۳۰-۰ سانتی‌متری را باهم و ۶۰-۳۰ نیز باهم و نمونه‌های ۹۰-۶۰ را با هم به طور جداگانه مخلوط گردید. مقدار نمونه لازم از هر مخلوط ۱ تا ۱/۵ کیلوگرم شد، از هر ۴ هکتار حداقل ۴ تا ۵ چاله حفر شد. خاک‌های جمع آوری شده پس از مخلوط شدن در کیسه‌ای پلاستیکی تمیز ریخته و پس از گذاشتن برگه مشخصات داخل آن به آزمایشگاه ارسال شدند.

جدول ۱- میزان عناصر غذایی و خصوصیات شیمیایی خاک باغ در سال انجام آزمایش

عمق نمونه	EC	pH	TNV	ماده	کربن	N %	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca	Mg	S
برداری (cm)	Ds/m		%	آلی %	آلی %		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
۳۰	۰/۷۹	۷/۰۲	۲/۵۵	۱/۹۴	۱/۱۳	۰/۱۱	۸	۹۶/۴	۹/۴۳	۱/۷۳	۱/۰۷	۱۳/۷۷	۶۰	۸۴	۶۲/۵
۳۰-۶۰	۰/۸۷	۷/۲۸	۶/۲۳	۰/۹۶	۰/۵۶	۰/۰۶	۵/۸	۱۳۷/۴	۴/۸۶	۰/۶	۱/۰۶	۳/۲۸	۱۶۴	۳۱/۲	۳۰/۲۵
۶۰-۹۰	۰/۹۲	۷/۱	۳/۸۶	۲/۰۷	۱/۲	۰/۱۲	۲۳/۶	۲۴۶/۲	۴/۵	۱/۴۴	۱/۵۲	۳/۸	۱۶۸	۶۲/۴	۴۴/۷

تیمارها و نحوه کود دهی

تیمار یک به عنوان تیمار شاهد (تغذیه استاندارد باغ) بود که شامل ترکیبات نیترات پتاسیم کلسیم (۵۰ کیلو در هکتار در اواخر فروردین)، سولفات پتاسیم (۵۰ کیلو در هکتار در اوایل مرداد)، سولو پتاس (۱۵۰ کیلو در هکتار در اواخر مرداد) به صورت تغذیه خاکی و و کود کامل پتاس بالا (۷/۵ لیتر در هکتار در اواسط خرداد) به صورت محلول پاشی استفاده شد.

تیمار دوم شامل کود تیوسولفات کلسیم (CaTs) شرکت تسندرو کرلی بلژیک جایگزین نیترات پتاسیم کلسیم تیمار یک (شاهد) شد و طبق دستورالعمل شرکت سازنده آن به میزان ۱۰۰ لیتر در هکتار مصرف گردید که از مقدار مذکور ۷۵ لیتر در هکتار در اوایل فروردین (همزمان با تورم جوانه‌ها) و ۲۵ لیتر در هکتار در اواخر اردیبهشت (پس از اتمام گل دهی) از طریق تانک کود-آبیاری در خاک تزریق شد.

تیمار سوم شامل سولوپتاس تیمار یک نصف شده (۷۵ کیلو در هکتار) و به جای آن ۱۰۰ لیتر تیوسولفات پتاسیم (KTS) $(K_2S_2O_3)$ جایگزین شد که این کود نیز طبق دستورالعمل شرکت سازنده کود ۵۰ لیتر در هکتار در اواخر اردیبهشت و ۵۰ لیتر نیز در اواخر خرداد از طریق تانک کود-آبیاری در خاک تزریق شد.

تیمار چهارم نیز تیوسولفات کلسیم (CaTs) جایگزین نیترات پتاسیم کلسیم تیمار یک شده و سولوپتاس تیمار یک نصف شده (۷۵ کیلو در هکتار) و به جای آن ۱۰۰ لیتر تیوسولفات پتاسیم (KTS) جایگزین شد که طبق دستورالعمل تیمارهای دو و سه اعمال شد.

T1= کود کامل پتاس بالا + ۱۵۰ kg/ha سولوپتاس + ۵۰ kg/ha سولفات پتاسیم + ۵۰ kg/ha نترات پتاسیم کلسیم kg/ha

T2= ۷/۵ L/ha کود کامل پتاس بالا + ۱۵۰ kg/ha سولوپتاس + ۵۰ kg/ha سولفات پتاسیم + ۱۰۰ L/ha CaTs

T3= کود کامل + ۷۵ kg/ha سولوپتاس + ۵۰ kg/ha سولفات پتاسیم + ۵۰ kg/ha نترات پتاسیم کلسیم + ۱۰۰ L/ha KTS + ۷/۵ L/ha پتاس بالا

T4= ۷/۵ L/ha کود کامل پتاس بالا + ۷۵ kg/ha سولوپتاس + ۵۰ kg/ha سولفات پتاسیم + ۱۰۰ L/ha CaTs

آزمایش در یکسال و در قالب طرح بلوک‌های 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 موقع اجرای آزمایش و برای جلوگیری از اختلاط و تاثیر تغذیه درختان مجاور بر روی تیمارهای اصلی، بین هر کرت با کرت کناری سه ردیف فاصله گذاشته 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 برداری‌ها فقط از درختان اصلی هر کرت انجام گرفت. برای اجرای آزمایش، یک تانک تزریق کود با لوله‌کشی جداگانه برای هر کرت طراحی شده بود و تزریق کودهای هر تیمار به صورت جداگانه از طریق این سیستم انجام شد. در نهایت بعد از اعمال تیمارها آبیاری قطعات با استفاده از سیستم آبیاری اصلی انجام گرفت.

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

ارزیابی صفات مورد مطالعه

وزن تر و خشک میوه گردو

وزن تر برای هر کدام از تیمارها به طور جداگانه از هر ۴ تیمار ۱۰ گردو به طور تصادفی انتخاب و توسط ترازوی دیجیتالی آزمایشگاهی با حساسیت هزارم گرم وزن و نتایج بر حسب گرم بیان شد، پس از خشک شدن میوه، وزن خشک دوباره با همان ترازو اندازه‌گیری شده و بعد از مغز کردن، وزن مغز هر میوه نیز جداگانه یادداشت شد (Melgarejo et al., 2000).

درصد وزنی مغز به میوه و عملکرد در شاخه

نسبت وزن ۱۰ عدد مغز خشک به ۱۰ عدد میوه خشک از هر درخت اندازه‌گیری شده و در صد ضرب شد.

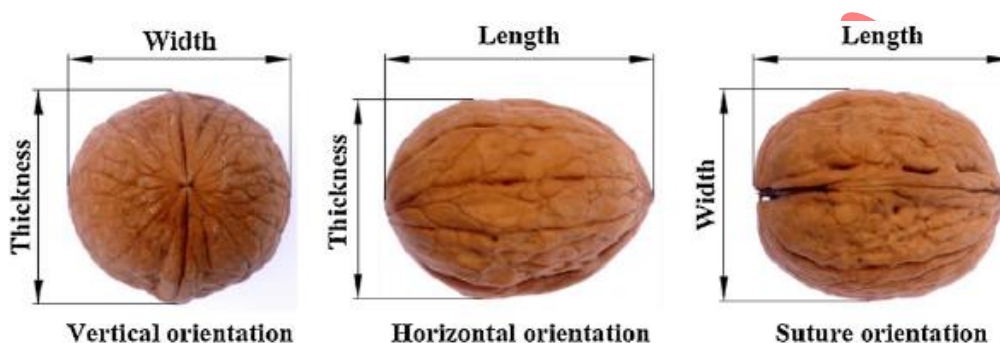
رابطه ۱:

۱۰۰× وزن ۱۰ عدد مغز خشک/وزن ۱۰ عدد میوه خشک=درصد وزنی مغز میوه

عملکرد نیز از طریق ضرب کردن میانگین وزن میوه خشک هر درخت در تعداد میوه های آن به دست آمد.

طول، عرض، ضخامت میوه و پوست چوبی

برای اندازه گیری ابعاد میوه و ضخامت پوسته سبز از یک کولیس دیجیتالی (مدل Z22855) با دقت ۰/۰۰۱ میلی متر استفاده شد. ابعاد اصلی شامل طول، عرض و ضخامت بوده است (شکل ۱).



شکل ۱- مقطع طولی، عرض شکمی و جانبی گردو (Ercisli et al., 2012)

ماده خشک (DM)

ابتدا مغز تر میوه ها وزن شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد نگهداری شدند و سپس دوباره وزن شده و ماده خشک به دست آمد و سپس از نسبت وزن خشک به وزن اولیه میزان ماده خشک به صورت درصد محاسبه شد.

عناصر غذایی برگ و میوه

اندازه گیری عنصر ازت به روش کج‌لدال، فسفر به روش کالریمتری، پتاسیم به روش فلیم فتومتری، عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی انجام شد.

جهت اندازه گیری مقدار ازت کل مغز و برگ گردو محلول های مورد نظر آماده شد. توسط دستگاه کج‌لدال تقطیر انجام گرفت و میزان درصد نیتروژن در نمونه خشک گیاهی محاسبه شد (امامی، ۱۳۷۵).

برای اندازه گیری منگنز نمونه ها در آون تهویه دار به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. نمونه های خشک شده به وسیله آسیاب برقی پودر شده و برای عصاره گیری از روش هضم با اسیدنیتریک ۴ مولار در حرارت ۹۵ درجه سانتی گراد استفاده شد. پس از صاف کردن عصاره ها غلظت منگنز بوسیله دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد (Allen, 1993).

فسفر مغز گردو به روش کالریمتری توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (ساخت انگلیس) در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه گیری و بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم بیان شد (امامی، ۱۳۷۵). اندازه گیری درصد پتاسیم توسط دستگاه فیلم فتومتر (مدل Jenway PFP7 ساخت انگلستان) انجام شد (امامی، ۱۳۷۵).

اندازه گیری درصد کلسیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد. روش کار به این ترتیب صورت گرفت که یک میلی لیتر از عصاره نمونه ها و شاهد گرفته شد و به نسبت ۱+۹ با آب مقطر رقیق شد. سپس با میکرو پی پت ۰/۲۵ میلی لیتر از عصاره رقیق شده به لوله آزمایش منتقل شد و میزان ۴/۷۵ میلی لیتر از محلول نیترات لانتانوم حاوی یک گرم در لیتر لانتانوم، به آن اضافه شد. از این عصاره برای اندازه گیری میزان جذب کلسیم (در طول موج ۴۲۲/۷ نانو متر) استفاده و مقدار آن بر حسب میلی گرم بر کیلو گرم بیان شد (Perkin, 1982).

در روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCl مواد آلی گیاه با حرارت کنترل شده از بین می رود. در درجه حرارت بالا کلیه ترکیبات ازت دار بصورت گاز خارج شد. عصاره تهیه شده در این روش جهت اندازه گیری عناصر غذایی روی، مس، آهن و بر در اجزاء گیاه و کود آلی به کار رفت (Perkin-Elmer, 1982).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

یافته های پژوهش

عناصر مختلف در برگ

تجزیه واریانس اثرات تیمارهای کودی بر همه عناصر غذایی در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی دار شد. مقایسه میانگین تجزیه عناصر برگ نشان داد که تیمار ترکیبی تیوسولفات پتاسیم، کلسیم بیشترین تاثیر را در افزایش میزان نیتروژن برگ گردو (با میانگین ۴/۰۹٪) داشته است. غلظت نیتروژن در تیمارهای تیوسولفات کلسیم به علاوه پتاسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم در محدوده مصرف لوکس و در سایر تیمارها در محدوده نرمال قرار داشت (Ramos, 1998). فسفر فقط در تیمار تیوسولفات کلسیم (۰/۰۹ درصد) با اختلاف معنی داری کمتر از بقیه تیمارها قرار گرفت. بیشترین میزان پتاسیم در تیمار تیوسولفات پتاسیم به علاوه کلسیم و تیوسولفات پتاسیم (به ترتیب با ۱/۵۲ و ۱/۵ درصد) در مشاهده شد و کمترین میزان آن در تیمارهای شاهد و تیوسولفات کلسیم (با ۱/۲ درصد برای هر دو تیمار) مشاهده شد. بیشترین میزان کلسیم برگ در تیمار تیوسولفات کلسیم (۲/۷٪) مشاهده شد و سایر تیمارها با هم اختلاف معنی داری نشان ندادند. بیشترین میزان آهن در تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و شاهد (به ترتیب با ۳۹۰/۲ و ۳۸۷ ppm) مشاهده شد و کمترین میزان آهن در تیمار تیوسولفات کلسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم به علاوه کلسیم (به ترتیب با ۳۴۰ و ۳۴۹/۳ ppm) مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان روی برگ در شاهد (۲/۷ ppm) و کمترین میزان آن در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم (۴۱ ppm) مشاهده شد. بیشترین میزان منگنز در تیمار تیوسولفات پتاسیم (۶۰۱/۷ ppm) و کمترین میزان آن در تیمار تیوسولفات کلسیم به علاوه پتاسیم (۲۹۸/۲ ppm) به دست آمد.

اما در تمامی تیمارهای مورد ارزیابی میزان منگنز در محدوده مصرف لوکس و یا زیادی قرار داشت. بیشترین میزان بور در شاهد (۱۲۳/۶ ppm) و کمترین میزان آن در تیمار تیوسولفات کلسیم (۷۹ ppm) مشاهده شد (جدول ۲).

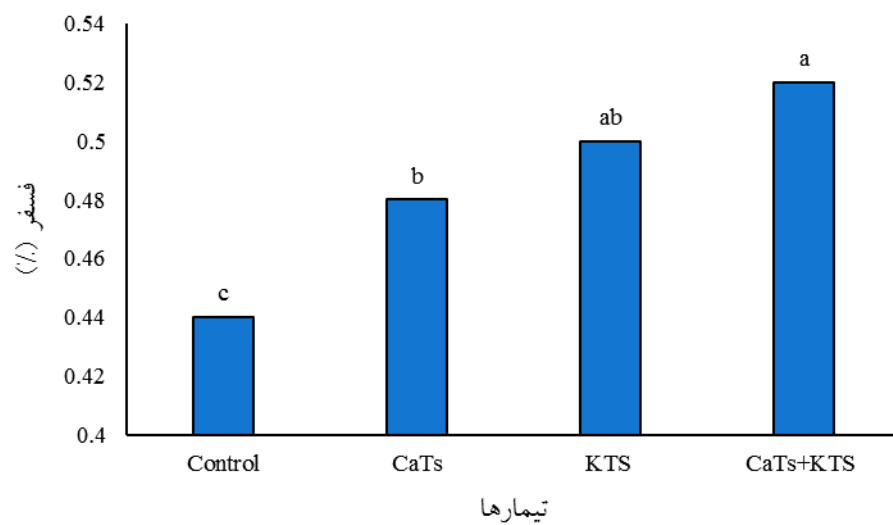
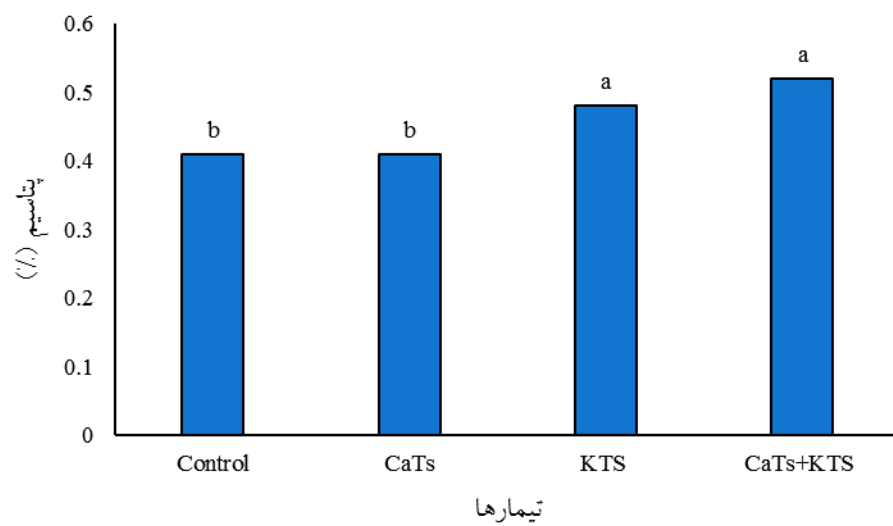
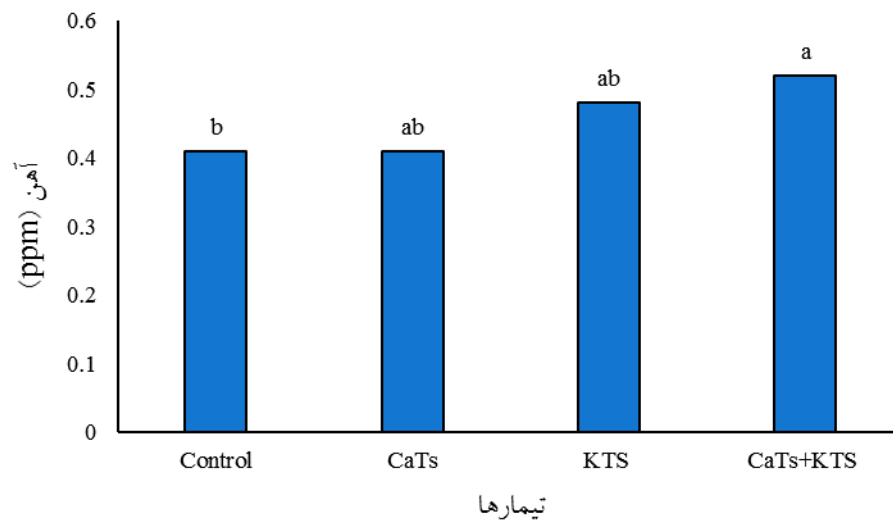
جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر برخی عناصر برگ گردو رقم چندلر

تیمار	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	کلسیم (%)	منیزیم (%)	آهن (ppm)	روی (ppm)	مس (ppm)	منگنز (ppm)	بور (ppm)
* محدوده نرمال	۲/۲-۲/۸	۰/۵-۰/۱۴	۱/۲-۲/۵	۱/۲-۱/۵	۰/۶-۰/۲۵	۱۰۰-۱۵۰	۱۶-۶۰	۶-۲۵	۲۶-۲۵۰	۳۶-۲۰۰
Control	۳/۴ ^c	۰/۱۹ ^a	۱/۳ ^b	۲ ^b	۰/۳۹ ^a	۳۸۷ ^a	۸۰/۰۱ ^a	۶۰/۱ ^a	۵۴۴ ^b	۱۲۳/۶ ^a
CaTs	۲/۷ ^b	۰/۰۹ ^b	۱/۳ ^b	۲/۷ ^a	۰/۴۹ ^a	۳۴۰ ^b	۶۲/۵ ^b	۴۹/۵ ^b	۳۷۷/۸ ^c	۷۹ ^b
KTS	۳/۷ ^{ab}	۰/۱۹ ^a	۱/۵ ^a	۲/۱ ^b	۰/۴۲ ^a	۳۹۰/۲ ^a	۶۵/۳ ^b	۳۲/۵ ^c	۶۰۱/۷ ^a	۱۱۹ ^a
CaTs+KTS	۴/۰۹ ^a	۰/۳ ^a	۱/۵۲ ^a	۱/۹۹ ^b	۰/۴۱ ^a	۳۴۹/۳ ^b	۴۱ ^c	۳۰/۵ ^c	۲۹۸/۲ ^d	۱۱۸/۳ ^a

* محدوده‌های نرمال عناصر غذایی در برگ درختان گردو بر اساس Ramos, 1998 تهیه شده است.

عناصر مختلف موجود در میوه گردو (نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، آهن)

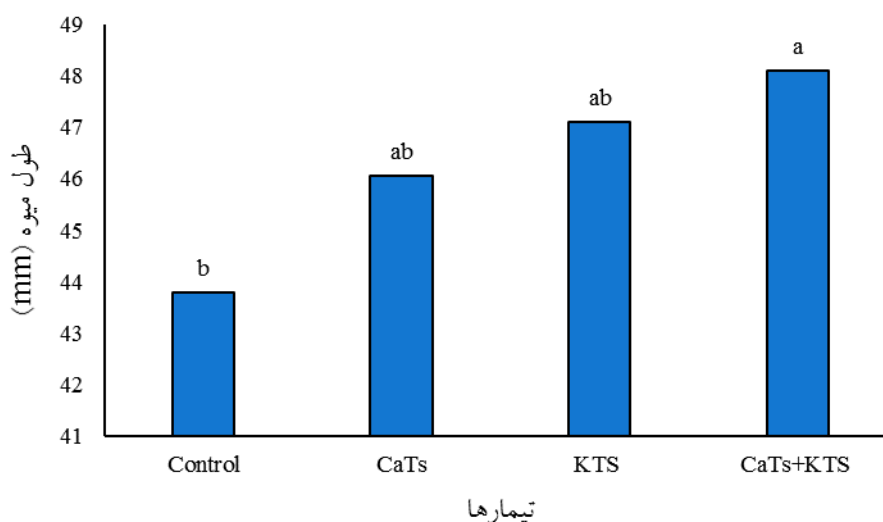
تجزیه واریانس اثرات تیمارهای کودی بر غلظت‌های عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم و آهن در میوه گردو در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0/01$) معنی‌دار بوده ولی بر غلظت عناصر نیتروژن میوه معنی‌دار به دست نیامد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم در تیمارهای تیوسولفات پتاسیم به علاوه کلسیم و تیوسولفات پتاسیم با ترتیب با ۵۰٪ و ۴۹٪ درصد بوده و کمترین میزان آن در تیمارهای شاهد و تیوسولفات کلسیم با ۱/۴۲ درصد برای هر دو تیمار بوده است. بیشترین میزان کلسیم در تیمار تیوسولفات کلسیم با ۳۶٪ درصد به دست آمد و کمترین میزان آن در تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و تیمارهای تیوسولفات پتاسیم به علاوه کلسیم (به ترتیب با ۲۳٪ و ۲۷٪ درصد) به دست آمد. بیشترین میزان فسفر (۵۱٪ درصد) و آهن (۸۶/۴ ppm) در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم مشاهده شد و کمترین میزان آهن در شاهد (۶۱/۱ ppm) مشاهده شد (شکل ۲).

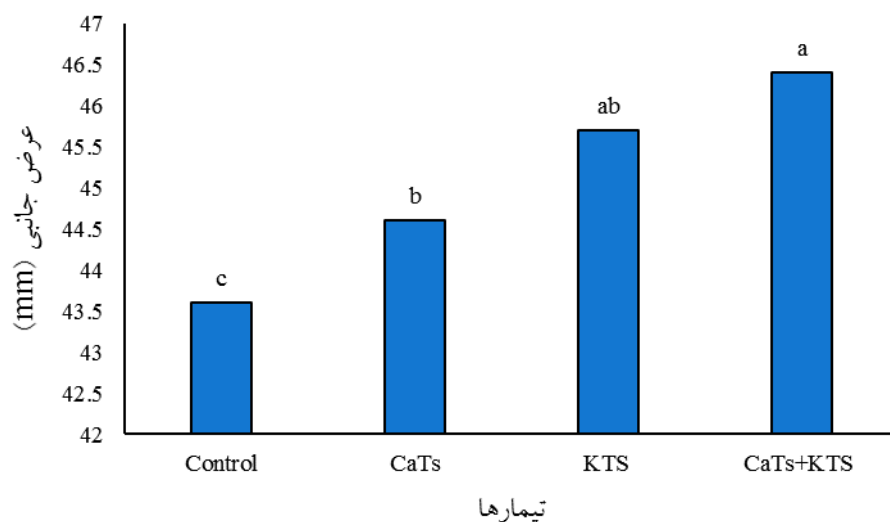
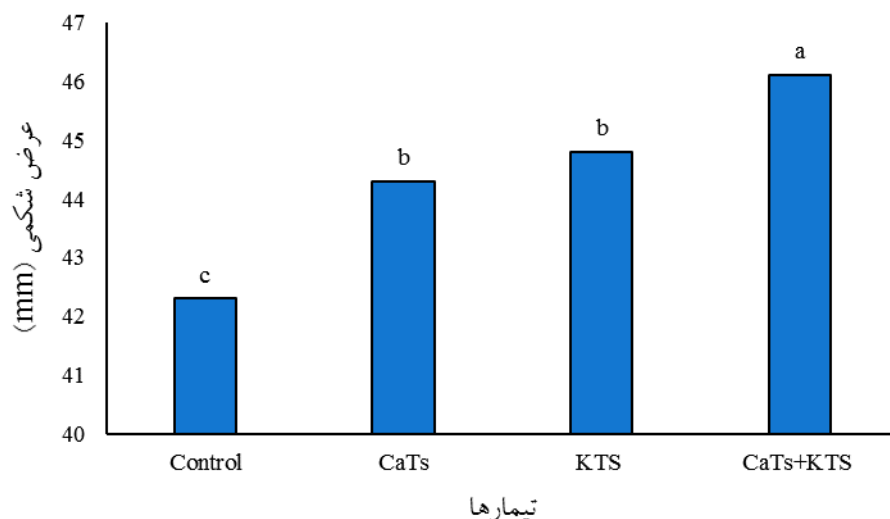


شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر پتاسیم، فسفر و آهن میوه گردو
(CaTs: تیوسولفات کلسیم، KTS: تیوسولفات پتاسیم)

اندازه میوه گردو

نتایج تجزیه واریانس ابعاد میوه نشان داد که اثرات تیمارها در صفت عرض شکمی در سطح یک درصد و عرض جانبی در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) معنی دار بوده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به طور معنی‌داری موجب افزایش طول، عرض شکمی و عرض جانبی میوه گردو شدند (شکل ۳). بیشترین میزان طول، عرض شکمی و عرض جانبی میوه در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم مشاهده شد. تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم (۹/۸، ۸/۹ و ۶/۴ درصد) موجب افزایش طول، عرض شکمی و عرض جانبی میوه گردو نسبت به شاهد شدند. کمترین میزان طول، عرض شکمی و عرض جانبی (۴۳/۸، ۴۲/۳ و ۴۳/۶ میلی‌متر) در شاهد مشاهده شد. اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم از نظر میزان طول و عرض جانبی میوه گردو مشاهده نشد (شکل ۳).





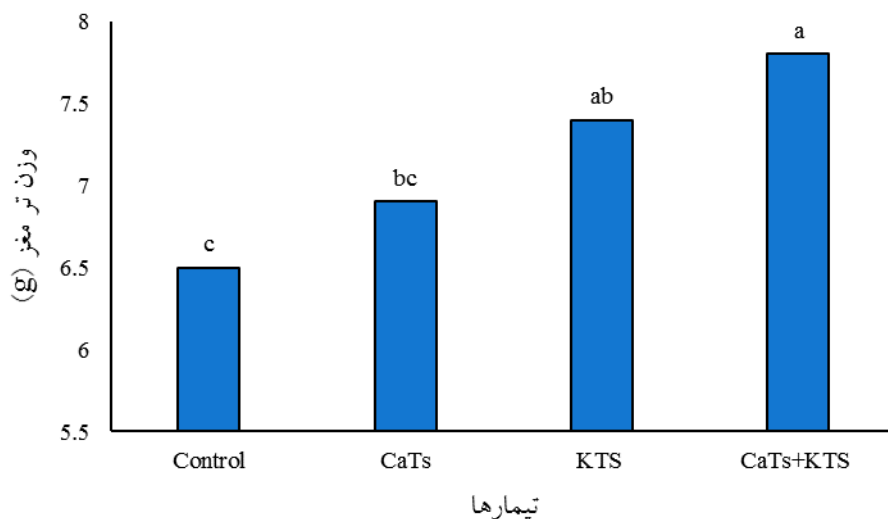
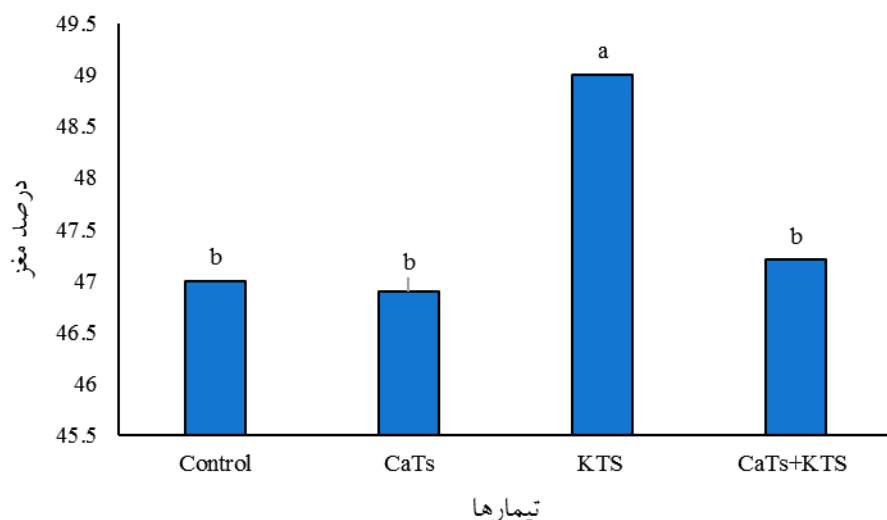
شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر طول، عرض شکمی و جانبی میوه گردو (CaTs: تیوسولفات کلسیم، KTS: تیوسولفات پتاسیم)

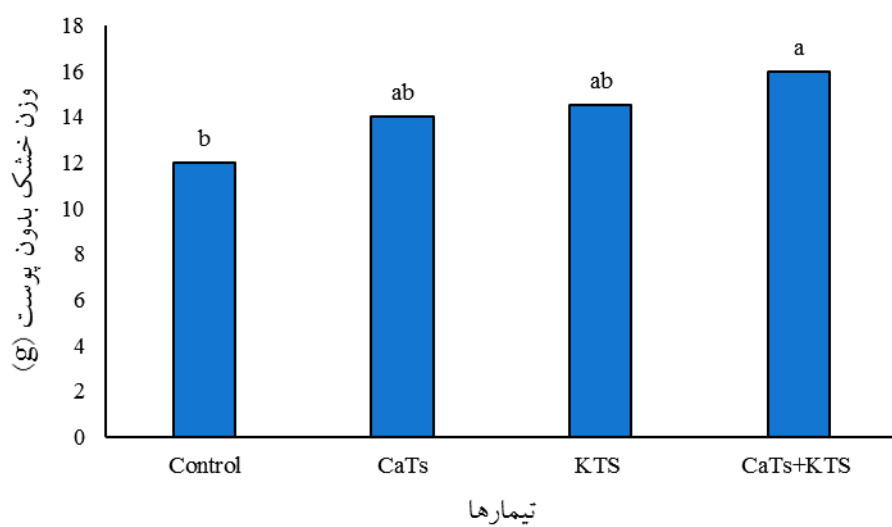
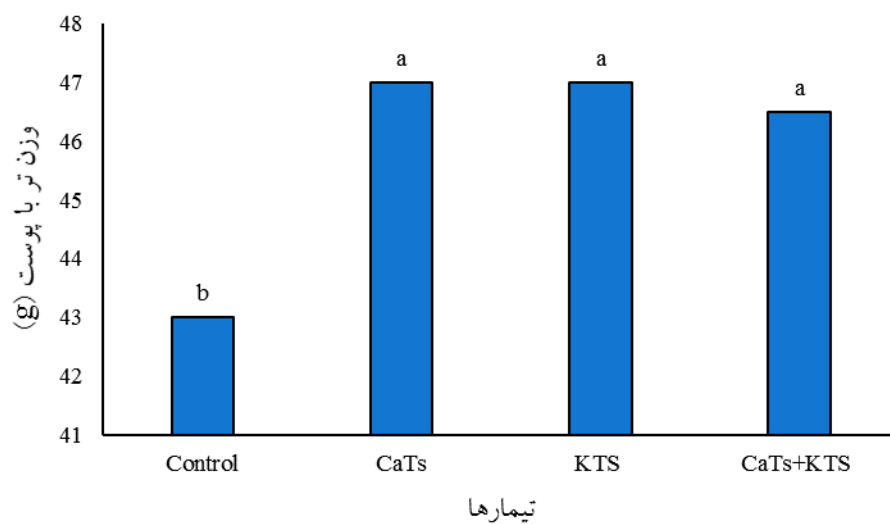
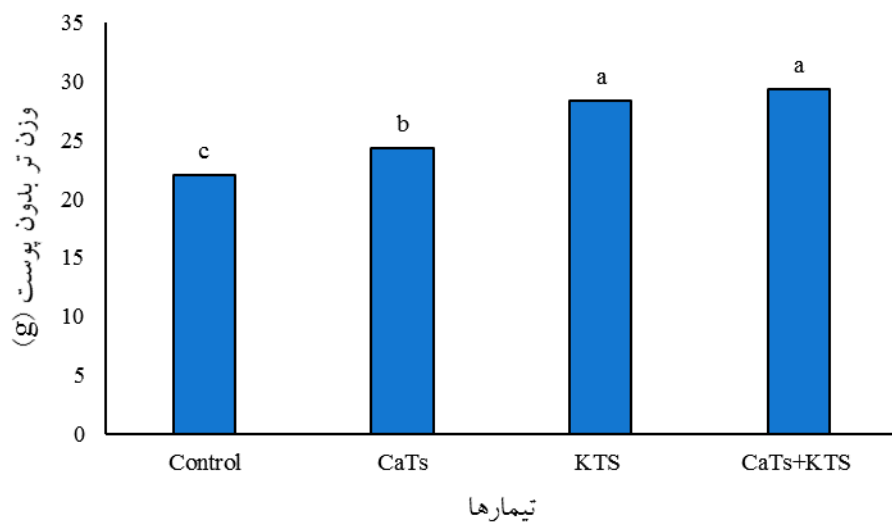
وزن تر و خشک میوه و مغز گردو

نتایج تجزیه واریانس وزن تر و خشک میوه و مغز گردوها نشان داد که اثرات تیمارها در صفات مربوط به وزن تر بدون پوست در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) و در صفات وزن خشک میوه، وزن تر با پوست، وزن تر مغز میوه و درصد مغز گردو در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) معنی دار بوده است.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار تیوسولفات کلسیم به علاوه پتاسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم به طور معنی داری موجب افزایش وزن تر با و بدون پوست سبز و وزن خشک میوه شدند (شکل ۴). بیشترین میزان وزن تر گردو با پوست سبز در

تیمار تیوسولفات پتاسیم با میانگین ۴۷/۵ گرم و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد با میانگین ۴۳ گرم مشاهده شد. تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم (۲۶/۴ درصد) موجب افزایش وزن تر گردو بدون پوست سبز شدند. بیشترین میزان وزن خشک گردو بدون پوست سبز در ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم با میانگین ۳۳/۵ گرم مشاهده شد و کمترین در شاهد (۲۶/۵ گرم) مشاهده شد. تیمار تیوسولفات پتاسیم (۲۲/۶ درصد) موجب افزایش وزن خشک گردو بدون پوست سبز شدند. بیشترین میزان وزن خشک گردو در تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم با میانگین ۱۴ گرم مشاهده شد و کمترین در شاهد (۱۲ گرم) مشاهده شد (شکل ۴).

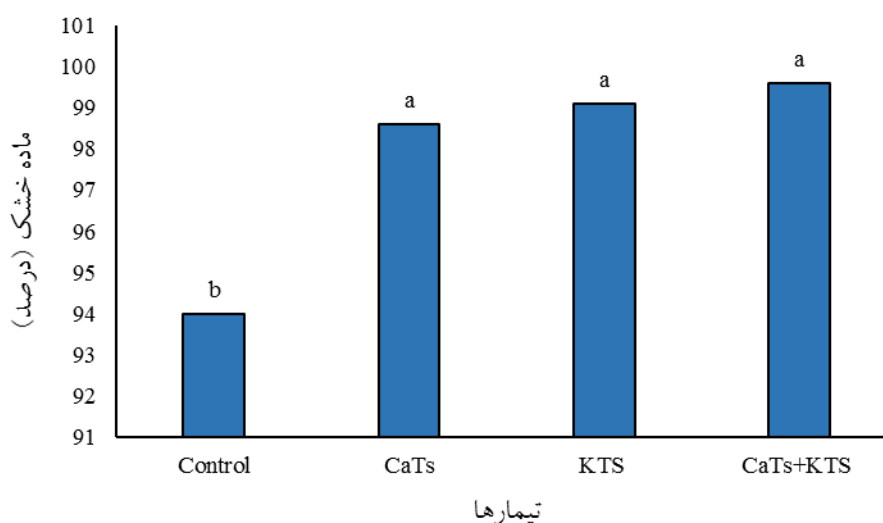




شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم در مقایسه با شاهد بر وزن تر و خشک بدون پوست سبز میوه گردو رقم چندلر (CaTs: تیمار تیوسولفات کلسیم، KTS: تیوسولفات پتاسیم)

ماده خشک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد، اثر تیمار تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) بر ماده خشک میوه گردو معنی دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم، تیمار تیوسولفات کلسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم به طور معنی داری موجب افزایش ماده خشک میوه گردو شدند (شکل ۵). بیشترین میزان ماده خشک در تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم (۹۹/۶ درصد) و کمترین میزان آن در تیمار شاهد با (۹۴ درصد) میانگین مشاهده شد. تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم (۵/۹۵ درصد) موجب افزایش ماده خشک گردو شدند. تیمار تیوسولفات پتاسیم (۵/۴۲ درصد) و تیمار تیوسولفات کلسیم (۴/۸۹ درصد) موجب افزایش ماده خشک شدند.

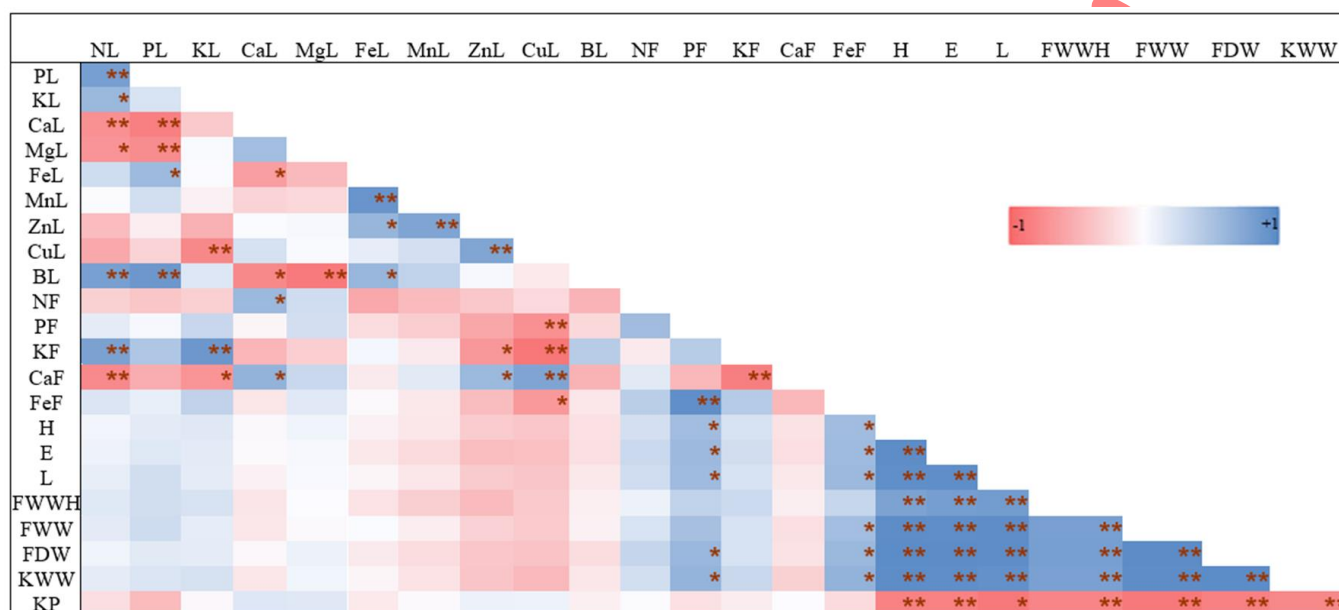


شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر ماده خشک میوه گردو (CaTs: تیوسولفات کلسیم، KTS: تیوسولفات پتاسیم)

همبستگی صفات اندازه گیری شده

نتایج همبستگی صفات مختلف ارزیابی شده با غلظت عناصر در برگ و میوه نشان داد که در برخی از عناصر بین غلظت عناصر در برگ و میوه همبستگی‌های مثبت و منفی معنی داری وجود دارد. با توجه به نتایج به دست آمده پتاسیم برگ با نیتروژن

برگ ($r=0/6$) و پتاسیم میوه ($r=0/88$) مثبت معنی دار و با غلظت مس برگ ($r=-0/78$) و کلسیم میوه ($r=-0/7$) منفی معنی دار به دست آمد. غلظت کلسیم برگ با نیتروژن برگ ($r=-0/73$)، فسفر برگ ($r=-0/84$)، آهن برگ ($r=-0/64$) و بور برگ ($r=-0/78$) منفی معنی دار و با نیتروژن میوه ($r=-0/59$) و کلسیم میوه ($r=-0/65$) مثبت معنی دار به دست آمد. همبستگی مثبت معنی داری بین میزان فسفر میوه و اغلب صفات مربوط به پومولوژی میوه مشاهده شد ولی بین غلظت سایر عناصر برگ و میوه با صفات پومولوژی میوه مشاهده نشد. امام همبستگی صفات پومولوژی میوه شامل طول، عرض شکمی و جانبی میوه، وزن تر میوه با پوست سبز، وزن تر بدون پوست سبز، وزن خشک میوه، وزن تر مغز و درصد مغز همبستگی مثبت معنی داری با ضریب همبستگی بالا ($r=0/98 - 0/78$) مشاهده شد. همبستگی بین درصد مغز و صفات پومولوژی اغلب منفی معنی دار به دست آمد ($r=0/82 - 0/89$) (شکل ۶).



شکل ۶- جدول ضریب همبستگی پیرسون صفات مختلف ارزیابی شده

** و * به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

NL: نیتروژن برگ، PL: فسفر برگ، KL: پتاسیم برگ، CaL: کلسیم برگ، MgL: منیزیم برگ، FeL: آهن برگ، MnL: منگنز برگ، ZnL: روی برگ، CuL: مس برگ، BL: بور برگ، NF: نیتروژن میوه، PF: فسفر میوه، KF: پتاسیم میوه، CaF: کلسیم میوه، FeF: آهن میوه، H: طول میوه، E: عرض شکمی میوه، L: عرض جانبی میوه، FWWH: وزن تر میوه با پوست سبز، FWW: وزن تر میوه بدون پوست سبز، FDW: وزن خشک میوه با پوست چوبی، KWW: وزن تر مغز، KP: درصد مغز

بحث

در این مطالعه مصرف کودهای تیوسولفات پتاسیم و کلسیم موجب افزایش میزان نیتروژن، کلسیم، پتاسیم، منیزیم در برگ گردو نسبت به شاهد شده است. یکی از موارد ضروری برای رشد و نمو مطلوب گیاهان، تأمین یون‌های پتاسیم و کلسیم کافی است. به دلیل وجود رقابت منفی بین جذب پتاسیم با دو عنصر کلسیم و منیزیم، اغلب مقادیر بالای پتاسیم منجر به کمبود منیزیم و

کلسیم در گیاه می‌شود و عدم تعادل بین غلظت عناصر پتاسیم، منیزیم و کلسیم موجب کاهش این عناصر در بافت برگ و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Baldacchino-Reynaud, 2000). افزایش عناصر غذایی برگ مخصوصاً کلسیم و پتاسیم نقش مهمی در افزایش کیفیت میوه دارند (Ghesmati et al., 2017; Zivdar, 2015).

مصرف کودهای گوگردار در خاکهای آهکی با کاهش pH موجب جذب اکثر عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف در برگ گیاه می‌شود. گزارش شده است خاک‌هایی که میزان کلسیم بیشتری دارند، جذب عناصر غذایی کم مصرف و فسفر با مشکل مواجه می‌شود. در این مطالعه میزان پتاسیم و نیتروژن با مصرف کودهای تیوسولفات پتاسیم و کلسیم افزایش یافته است و جذب بقیه عناصر در برگ شاهد بیشتر از تیمارها بوده است که به دلیل پایین بودن میزان آهک در خاک باغ مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۱). در این مطالعه مصرف تیوسولفات پتاسیم و کلسیم افزایش جذب آهن در میوه گردو شده است که احتمالاً با کاهش pH موجب افزایش جذب این عنصر در میوه شده است. کاربرد کودهای شیمیایی با بنیان تیوسولفات‌ها، نقش موثرتری در جذب عناصر کم مصرف از قبیل آهن خواهد داشت. و با توجه به آهکی بودن خاک‌های کشور ما، کاربرد این نوع کودها می‌تواند نقش موثرتری در کارایی جذب عناصر در باغات گردو داشته باشد (کریمی نیا، ۱۳۷۶).

پتاسیم از طریق افزایش میزان تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و افزایش تقسیم سلولی موجب افزایش طول و عرض میوه می‌شود (Lalonde et al., 2003). پتاسیم مهمترین عنصر موثر در فعالیت روزنه‌ای برگ است و از طریق کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها درمیزان تنفس و تعرق نقش دارد (Prajapat and Modi, 2012). پتاسیم تاثیر مستقیم در فعالیت آنزیم روبیسکو کربوکسیلاز ندارد ولی از طریق افزایش سنتز آنزیم‌های کربوکسیلاسیون موجب افزایش تثبیت دی اکسید کربن، افزایش فتوسنتز و بهبود عملکرد و کیفیت میوه می‌شود. پتاسیم موجب افزایش وزن تر، وزن خشک و افزایش عملکرد در میوه‌های مختلف شده است (Jifonand Lester, 2007; Taber, 2006).

پتاسیم به طور معنی داری موجب افزایش طول و عرض میوه زیتون شده است (Hegazi et al., 2011). که با نتایج بدست آمده از این پژوهش در روی میوه گردوی رقم چندلر مطابقت دارد. در این مطالعه کلسیم به همراه پتاسیم موجب افزایش عرض شکمی (۸/۲٪)، عرض جانبی (۶/۴٪) و طول میوه (۱۱/۲٪) نسبت به شاهد شده است که تیمار تیوسولفات پتاسیم به همراه کلسیم با افزایش تقسیم سلولی و جلوگیری از انتشار آب به خارج از سلول موجب افزایش طول و عرض سلول و رشد سلول شده‌اند (Sharafzadeh et al., 2008) یون‌های سولفات نقش مهمی در افزایش فعالیت فتوسنتزی و ساخت پروتئین‌ها دارند و موجب افزایش اثر پتاسیم و کلسیم در افزایش رشد میوه و افزایش طول و عرض میوه می‌شوند (Solhjo, 2015).

مصرف بهینه مواد غذایی برای افزایش کیفیت میوه بسیار ضروری است. کلسیم با بهبود شرایط فیزیولوژیکی مانند محتوای نسبی آب (با فعال نمودن پمپ پروتونی غشا و کنترل حرکات روزنه ای) موجب افزایش رشد ریشه و توسعه سطح برگ شده و با افزایش سطح برگ میزان فعالیت فتوسنتزی و ماده سازی و افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (Al-Yousif and Al-Masudey, 2007). در این مطالعه تیوسولفات پتاسیم- کلسیم موجب افزایش ماده خشک میوه (۵/۳٪) و وزن تر میوه (۲۶٪) و وزن خشک میوه (۳۲/۶٪) نسبت به شاهد شده است.

پتاسیم با کاهش میزان تنفس موجب افزایش ماده خشک و در نتیجه وزن تر و خشک گیاه می‌شوند (Taiz and Zeiger, 2002). پتاسیم موجب افزایش وزن تر و خشک میوه زیتون (Hegazi et al., 2011)، انگور (Zareei et al., 2013) شده است. پتاسیم با افزایش شدت فتوسنتز، تشکیل و انتقال کربوهیدرات، حفظ pH درون سلولی و جذب عناصر غذایی از خاک موجب افزایش وزن

تر و خشک شده است (Xu et al., 2020). جذب و انتقال مواد هیدروکربنی با افزایش میزان پتاسیم افزایش می‌یابد (Xu et al., 2020).

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 می‌شود. همچنین کلسیم با افزایش انتقال کربوهیدرات از برگ‌ها به میوه موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (Al-Yousif and Al-Masudey, 2007). کلسیم موجب افزایش وزن تر و خشک میوه عناب (Ghesmati et al., 2017) و انار (Rouhi et al., 2015) شده است.

سولفات پتاسیم موجب افزایش ماده خشک در زیتون شده است (Zivdar, 2015) که با نتایج این پژوهش در میوه گردو مطابقت دارد. استفاده از پتاسیم و کلسیم موجب افزایش میزان کلروفیل شده و در نتیجه موجب افزایش میزان شدت فتوسنتز و تولید ماده خشک در گیاه می‌شود (Torre et al., 2001). همچنین کلسیم نقش مهمی در افزایش رشد و استحکام ریشه‌های موئین داشته و از این طریق موجب افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش تولید ماده خشک در گیاه می‌شود. پتاسیم نقش مهمی در جابجایی نیتрат در آوند چوبی دارد و از این طریق موجب افزایش رشد و ماده خشک در گیاه می‌شود (Zhao et al., 2001).

همبستگی بین غلظت عناصر غذایی در برگ و میوه با صفات پومولوژیکی در اغلب موارد معنی‌دار نبود. این عدم همبستگی احتمالاً به این دلیل است که در همه تیمارهای کودی، حتی تیمار شاهد، غلظت عناصر در برگ و میوه در محدوده استاندارد یا بالاتر از آن قرار داشت. سطوح کافی یا بیش از حد مواد مغذی می‌تواند روابط بالقوه بین غلظت مواد مغذی و صفات کیفیت میوه را پنهان کرده و تشخیص همبستگی‌های معنی‌دار را دشوار سازد. حفظ تعادل در تأمین مواد مغذی مهم است، زیرا هم کمبود و هم بیش بود، می‌توانند بر کیفیت میوه تأثیر بگذارند، اما پس از رسیدن به سطوح بهینه، افزایش بیشتر ممکن است بهبود بیشتری در صفات پومولوژیکی ایجاد نکند (Brunetto et al., 2015). به‌طور مشابه، مطالعه‌ای توسط Liu و همکاران (۲۰۲۴) بر روی گونه‌های درختی نشان داد که در شرایط تغذیه‌ای بهینه، تغییرات در صفات کیفی میوه به عوامل دیگری مانند ژنتیک گیاه یا شرایط محیطی وابسته است. کارایی بالای کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم در افزایش غلظت عناصر در برگ و میوه به دلیل جذب بالای آن‌های علی‌رغم مصرف کمتر در مقایسه با کودهای معمولاً مشاهده شد به طوری که با کاربرد کودهای تیوسولفات پتاسیم و کلسیم در اغلب موارد غلظت این عناصر در برگ و میوه در محدوده مصرف لوکس قرار داشت که با نتایج مطالعه Khan و همکاران (۲۰۲۳) هم‌راستا است که گزارش کردند کاربرد کودهای کلسیم و پتاسیم با حلالیت بالا می‌تواند جذب عناصر غذایی را بهبود بخشد و منجر به افزایش غلظت این عناصر در بافت‌های گیاهی شود. به‌طور خاص، آنها نشان دادند که کودهای تیوسولفات در مقایسه با کودهای سنتی، عملکرد بهتری دارند.

همبستگی مثبت بین غلظت پتاسیم برگ با غلظت نیتروژن برگ و پتاسیم میوه، و همبستگی منفی آن با کلسیم میوه و آهن برگ، نشان‌دهنده تعاملات پیچیده بین عناصر غذایی است. این نتایج با یافته‌های Pathak و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد که گزارش کردند پتاسیم می‌تواند جذب نیتروژن را تقویت کند، اما ممکن است با کلسیم رقابت کند. آنها نشان دادند که این رقابت به‌ویژه در خاک‌هایی با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا رخ می‌دهد. غلظت کلسیم برگ در گردو همبستگی مثبت و معنی‌داری با غلظت کلسیم میوه نشان می‌دهد که نشان می‌دهد سطوح بالاتر کلسیم در برگ‌ها با محتوای بالاتر کلسیم در میوه گردو مرتبط است. رابطه مثبت بین غلظت کلسیم در برگ‌ها و میوه نشان‌دهنده انتقال مؤثر یا مسیرهای جذب مشترک کلسیم در درختان گردو می‌باشد که در نتیجه آن از طریق مدیریت تغذیه کلسیم برای بهینه‌سازی کلسیم برگ می‌توان مستقیماً بر وضعیت کلسیم

میوه در حال رشد اثر گذاشته و باعث افزایش کیفیت میوه و کاهش اختلالات فیزیولوژیکی شد (Wang et al., 2023). همبستگی‌های منفی مشاهده‌شده بین کلسیم برگ و نیتروژن، فسفر، آهن و بور، نشان‌دهنده‌ی آنتاگونیسم مواد مغذی است که از طرق مختلف رخ می‌دهد. به طوری که غلظت بالای کلسیم ممکن است به دلیل رقابت در محل‌های جذب ریشه یا در سیستم انتقال درخت، جذب نیتروژن را سرکوب کند. کلسیم می‌تواند ترکیبات نامحلول با فسفر (مانند فسفات کلسیم) تشکیل دهد و در دسترس بودن فسفر را در بافت‌های گیاهی کاهش دهد. کلسیم اضافی می‌تواند جذب یا تحرک آهن را محدود کرده و احتمالاً در شرایط خاص منجر به کلروز شود. کلسیم و بور اغلب برای محل‌های اتصال در دیواره‌ها و غشاهای سلولی رقابت می‌کنند، بنابراین سطح بالای یکی می‌تواند جذب یا استفاده از دیگری را محدود کند (Wang et al., 2023). نتایج به دست آمده در این زمینه بر اهمیت حفظ تعادل در کاربرد کودهای کلسیمی تأکید دارد، به‌ویژه در تولید گردو که کلسیم برای کیفیت میوه ضروری است.

از نظر صفات پومولوژیکی، همبستگی بالای بین ابعاد، وزن میوه و وزن مغز مورد انتظار بود و در مطالعات متعددی تأیید شده است. حکیمی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که صفات مربوط به وزن ترو خشک و ابعاد میوه همبستگی معنی‌داری باهم دارند ولی درصد مغز با هیچ یک از صفات همبستگی معنی‌داری نداشت که مطابق با یافته‌های این تحقیق است.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم می‌توانند غلظت عناصر غذایی در برگ و میوه گردو را به‌طور مؤثری افزایش دهند، به طوری که با مصرف مقدار کمتر این کودها در مقایسه با کودهای رایج، غلظت عناصر غذایی در برگ محدوده مصرف لوکس قرار گرفت که نشان‌دهنده کارایی بالای این کودها است. همبستگی مثبت بین پتاسیم برگ و نیتروژن برگ و پتاسیم میوه و همبستگی منفی آن با کلسیم میوه و آهن برگ، بر اهمیت مدیریت دقیق تغذیه‌ای تأکید می‌کند. همچنین همبستگی مثبت کلسیم برگ با کلسیم میوه و تأثیر منفی آن بر سایر عناصر، نیاز به کاربرد متعادل کلسیم را نشان می‌دهد. از نظر صفات پومولوژیکی همبستگی قوی بین ابعاد، وزن میوه و مغز و همبستگی منفی درصد مغز با اندازه میوه با یافته‌های قبلی هم‌خوانی دارد. این نتایج می‌توانند به بهبود کیفیت میوه گردو و افزایش کارایی کوددهی در کشاورزی پایدار کمک کنند و زمینه‌ساز تحقیقات آینده برای بهینه‌سازی مدیریت تغذیه‌ای در باغات گردو باشند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش به عنوان بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد با حمایت مالی دانشگاه زنجان و مساعدت در زمینه تحقیق کشت و صنعت دشت خرمدره (استان زنجان) انجام شده است، بدینوسیله نویسندگان از آن‌ها تقدیر و تشکر می‌نمایند.

منابع

احمدی، م.، محمدخانی، آ و عبدالرحمان، س. (۱۳۹۳). اثر تغذیه پتاسیم و بور بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه انگور رقم عسکری. به زراعی کشاورزی ۱۶: ۴۳۰-۴۱۷

امامی، ع. (۱۳۷۵). روش‌های تجزیه گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ۹۸۲، تهران، ایران.

حکیمی، ی.، فتاحی مقدم، م.ر.، زمانی، ذ. (۱۴۰۱). ارزیابی تنوع ژنتیکی برخی ژنوتیپ‌های منتخب گردو با استفاده از خصوصیات مورفولوژیکی و پومولوژیکی. علوم باغبانی ایران. ۵۳ (۱): ۲۰۹-۲۲۴

خدیوی، ع. (۱۳۸۹). میوه کاری. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، ص ۲۴۴.

کریمی نیا، (۱۳۷۶). شناسایی گونه های تیوباسیلوس جدا شده از برخی از خاک‌های ایران و بررسی تاثیر آنها در کاهش pH خاک‌های مختلف. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران

ملکوتی، م. (۱۳۷۵). کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران، نشر آموزش و ترویج کشاورزی.

REFERENCES

- Abbas, M.; Abdel-Lattif, H.; & Shahba, M. (2021). Ameliorative Effects of calcium sprays on yield and grain nutritional composition of Maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Agriculture*, 11, 285. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040285>
- Acarsoy, N., Yagmur, B., Özaktan, H., & Akbaba, M. (2023). Effects of foliar application of nutrients and beneficial bacteria on fruit properties and nutrient concentrations of 'Chandler' Walnut Variety. *Erwerbs-Obstbau*, 65(3), 567-578 <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00867-y>
- Al-Yousif, A. A., & Al-Masudey, M. Z. (2007). Effect of calcium on *Ziziphus jujube* sp. fruit growth and their resistance to jujube fruit Fly *Carpomyia incompleta*. *Journal of Kerbela University*, 54: 106-113.
- Allen, H. E., Perdue & Brown, D. (1993). Metals in ground Water. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida
- Ashley, M. K., Grant, M., & Grabov, A. (2006). Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *Journal of experimental botany*. 57(2): 425-436. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj034>
- Baldacchino-Reynaud C. (2000). Stalk necrosis of Muscat de Hambourg, *Arboriculture Fruitiere*, 540: 19-23.
- Bar-Yosef, B. (1999). Advances in fertigation. *Advances in Agronomy*, 65, 1-77
- Bhattarai, B.P., & Tomar, C.S. (2009). Effect of Integrated Nutrient Management on Leaf Nutrient Status of Walnut (*Juglans regia* L.),” *Nepal Journal of Science and Technology*, 10. 63-67 <https://doi.org/10.3126/njst.v10i0.2825>.
- Brunetto, G., Melo, G.W.B.D., Toselli, M., Quartieri, M., & Tagliavini, M. (2015). The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(4):1089-1104. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-103/15>.
- Cherel, L. (2004) Regulation of K⁺ channel activities in plants: from physiological to molecular aspects. *Journal of Experimental Botany*, 55: 337-351
- Demiral, M. A. and Köseoglu, A. T. (2005). Effect of potassium on yield, fruit quality, and chemical composition of greenhouse-grown galia melon. *Journal of Plant Nutrition*, 28(1), 93-100. <https://doi.org/10.1081/PLN-200042179>

- Ercisli, S., Sayinci, B., Kara, M., Yildiz, B., & Ozturk, I. (2012). Determination of size and shape features of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars using image processing. *Scientia Horticulturae*, 133, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.10.014>
- 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*, 35: 871-881. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.111043.2059>
- Hamada, A.M. & EL-enany, A.E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36: 75-78
- 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 (1-9), <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109369>.
- 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: 252-25. [https://idosi.org/jhsop/3\(3\)11/6.pdf](https://idosi.org/jhsop/3(3)11/6.pdf)
- Jifon, G.E. & Lester, J.L. (2007). Effects of foliar potassium fertilization on muskmelon fruit quality and yield. *for Horticultural Science*, TX-52F, 1-5.
- Kalorizou, H. & Giannoulis, P. (2025). Fruit effect of exogenous application of calcium chloride in ‘Chandler’ commercial walnut orchards. *Acta Horticulturae*. 45-56. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1420.23>
- Khan, M.I.R., Nazir, F., Maheshwari, C., Chopra, P., Chhillar, H., & Sreenivasulu, N. (2023) Mineral nutrients in plants under changing environments: A road to future food and nutrition security. *Plant Genome*, 16(4): <https://doi.org/10.1002/tpg2.20362>.
- Lalonde, S., Tegeder, M., Throne-Holst, M., Frommer, W. B., & Patrick, J. W. (2003). Phloem loading and unloading of sugars and amino acids. *Plant, Cell and Environment*, 261: 37-56. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00847.x>
- 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. <https://doi.org/agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2006/01/p4103.pdf>
- Le Bot, J., Pilbeam, D. J. & Kirkby, E. A. (1994). Plant mineral nutrition in crop production. In: A.S. Basra Ed.). Mechanism of plant growth and improved productivity. *Modern Approaches* (33-72). New York: Marcel Dekker, Inc. <https://doi.org/bp.ueb.cas.cz/pdfs/bpl/1997/01/37.pdf>
- Liu, J., Wang, D., Yan, X., Jia, L., Chen, N., Liu, J., Zhao, P., Zhou, L., & Cao, Q. (2024). Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization management on soil properties, leaf traits, and yield of *Sapindus mukorossi*. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1300683>.

- Marchand, M. (2020). Efficiency of foliar applications of potassium sulphate on walnut production. *ISHS Acta Horticulturae*, 15-25. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1280.15>
- Melgarejo, P., Sanchez, M. Hernandez, F., Martinez, J. J. & Amoros, A. (2000). Parameters for determining the hardness and pleasantness of pomegranates (*Punica granatum* L.). *Options Mediterraneennes*, 42: 225-235.
- Narayan, O. P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M., & Johri, A. K. (2023). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling and Behavior*, 18(1): 2030082. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>
- Norozi, M., ValizadehKaji, B., Karimi, R. & Nikoogoftar Sedghi, M. (2019). Effects of foliar application of potassium and zinc on pistachio (*Pistacia vera* L.) fruit yield. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6(1): 113-123. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2019.278757.286>
- Pathak, J., Ahmed, H., Kumari, N., Pandey, A., Rajneesh, & Sinha, R.P. (2020). Role of calcium and potassium in amelioration of environmental stress in plants. In *Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress*, (eds A. Roychoudhury and D.K. Tripathi). <https://doi.org/10.1002/9781119552154.ch27>.
- Perkin-Elmer, (1982). Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Perkin-Elmer.
- Prajapati, K., & Modi, H.A. (2012). The importance of potassium in plant growth—a review. *Indian Journal of Plant Sciences*, 1(2): 177-186. <https://doi.org/10.9790/9622-0803054452>
- Ramos, D.E. (1998). Walnut production manual. University of California, Davis, USA. Publ. 3373, 304- 313.
- Sharafzadeh, S., Khoushkhoy, M., & Javidnia, K. (2008). Effects of nutrients on growth and active substances of thyme *Thymus vulgaris* L. *Journal of Gardener's Science and Techniques*, 94: 261-274. https://www.researchgate.net/publication/258567456_Effect_of_Nutrients_on_Growth_and_Active_Substances_of_Thyme
- Shool, A., Esmailzadeh, M., Roosta, H. & Dashti, H. (2023). Effects of irrigation-based potassium fertilizer on leaf and nut nutrients of two pistachio cultivars. *Journal of Nuts*, 14(1), 71-93. <https://doi.org/10.22034/jon.2022.1959492.1175>
- Silva, P. S. L., Rodrigues, V. L. P., Medeiros, J. F., Aquino, B. F. & Silva, J. (2007). Yield and quality of melon fruits as a response to the application of nitrogen and potassium doses. *Caatinga*, 20(2), 43-49. <https://www.researchgate.net/publication/256702596>.
- 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*, 292: 158-167.
- Solhjo, S. (2015). The Effect of foliar application of calcium chloride and potassium sources on improvement of color, quality characteristics and storage life of delicious apple fruit. Master's thesis in the field of horticultural sciences. *Faculty of Agriculture*, 25-42. <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79367.1204>

- Soleimani, A., Rabiei, V., Hassani, D., Mozaffari, M.R., & Dastjerdi, R. (2023). "Yield related traits in some Persian walnut cultivars: Analysis of genetic and genetic by environment interaction." *Advances in Horticultural Science*, 37(4), 367-376. <https://oaj.fupress.net/index.php/ahs/article/view/13749>
- Taber, H.G. (2006). Potassium application and leaf sufficiency level for fresh-market tomatoes grown on a Midwestern United States fine-textured soil. *Hort Technology*, 16(2): 247-252. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.16.2.0247>
- Torre, S., Fjeld, T. & Gislerod, H. R. (2001). Effect of air humidity and K/Ca ratio in the nutrient supply on growth and postharvest characteristics of cut roses. *Scientia Horticulturae*, 90: 291-304. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00230-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00230-8)
- Vásquez, M. A. N., Folegatti, M. V., Días, N. & Sousa, V. F. (2005). Qualidade pós-colheita de frutos de meloeiro fertirrigado com diferentes doses de potássio e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(2), 199-204. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000200008>
- Wang, Y., Yang, H., Wei, L., Liang, H., Huang, X., Tang, J., Feng, D., & Li, X. (2023). The Effects of calcium and magnesium deficiency on the growth, physiology, and nutrient uptake characteristics of Walnut Trees. In *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 17(5):547–555. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2023.2305>.
- Wolf, B. (1974). Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 5, 39-44
- Xu, X., Du, X., & Wang, F. (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*, 22-45. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904>
- Zareei, E., Ghaderi, N. & Javadi, T. (2013). Effect of potassium sulfate foliar spraying on berry and cluster weight, ph, total phenol and vit. C content of grape (*Vitis vinifera* cv. Rashe). *Journal of Food Science*, 69: 67-72.
- Zhao, D., Oosterhuis, D. M. & Bednarz, C. W. (2001). Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, 39: 103-9. <https://doi.org/10.1023/A:1012404204910>
- Zivdar, S. (2015). Investigating the effect of potassium sulfate foliar application on some physiological and biochemical indicators of olive (*Olea europaea* L). in the weather conditions of Ahvaz. *Master's Thesis in the Field of Horticultural Sciences*, 35-43. <https://doi.org/1001.1.16807073.2016.18.7.22.2>.