



The Effect of Foliar Application of Zinc and Calcium Sources on Improving Quality Parameters and Reducing Fruit Drop in Apple

Hossein Azizi^{a*}, Aziz Majidi^a, Jamal Ahmadaali^b, and Rozita Mazlomi Oskoui^c

^a Soil and Water Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran.

^b Agricultural Engineering Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran.

^c Food Industry Biotechnology Research Institute, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Tabriz, Iran

Article Info

Article Type

Research Article

Received

September 28, 2025

Revised

December 15, 2025

Accepted

December 15, 2025

Published online

March 16, 2026

Extended Abstract

Background and Objectives: Pre-harvest fruit drop is a major challenge limiting both yield and market quality in apple orchards, particularly in commercial orchards. Nutritional imbalances, particularly deficiencies or improper ratios of calcium and micronutrients, are known to cause fruit abscission and reduce fruit quality. Zinc plays a key role in auxin metabolism and enzyme activity, while calcium is crucial for maintaining cell wall structure, membrane stability, and fruit firmness. Applying these nutrients as foliar sprays during critical stages of fruit development can therefore help reduce fruit drop and enhance fruit quality. This study aimed to assess the effects of foliar applications of zinc citrate and different calcium sources, applied at various phenological stages, on pre-harvest fruit drop and quality characteristics of 'Red Delicious' apples over four consecutive growing seasons.

Keywords

Calcium citrate,
Fruit drop,
Fruit quality,
Micronutrients,
Red Delicious apple,
Zinc citrate.

Materials and Methods: This study was conducted from 2019 to 2023 in a commercial apple orchard in Balanj village, Urmia, Iran, chosen for its high incidence of fruit drop. Uniform 20–25-year-old 'Red Delicious' trees were used, with two trees per experimental plot. The experiment followed a factorial design with three replications. The first factor included six foliar treatments: control (water), zinc citrate, calcium citrate, calcium chloride, zinc citrate + calcium citrate, and zinc citrate + calcium chloride. The second factor involved three spraying schedules at key fruit development stages, from fruit set to two weeks before harvest. Sprays were applied at 0.3% zinc citrate, 0.3% calcium citrate, and 0.5% calcium chloride. Soil samples from 0–90 cm depth and irrigation water were analyzed before treatments, and basal fertilizers were applied uniformly. Standard orchard management practices, including irrigation, were followed. Leaf and fruit samples were collected to measure macro- and micronutrient concentrations and nutrient ratios (N/Ca, K/Ca, Mg/Ca, (K+Mg)/Ca, B/Ca). Pre-harvest dropped fruits were collected, counted, and weighed. Fruit quality—firmness, total soluble solids, titratable acidity, and juice pH—was assessed using standard methods. Data were analyzed over four years using SAS software (version 9.1).

*Corresponding author's email

h.azizi@areeo.ac.ir

Results: The results indicated that foliar applications had a significant impact on both fruit drop and fruit quality. Among the treatments, the combined use of zinc citrate and calcium citrate, especially following the four-stage spraying schedule, led to the largest reduction in pre-harvest fruit drop, bringing it down to 17.65%. This combination also improved quality traits of the fruit, including firmness, total soluble solids, and titratable acidity, while slightly lowering the juice pH. Furthermore, the combined zinc and calcium treatments reduced nutrient ratios in the fruit, such as N/Ca, K/Ca, Mg/Ca, and B/Ca. Levels of calcium, zinc, boron, and manganese in the fruit increased, while nitrogen, iron,

and potassium concentrations decreased. Analysis of leaf nutrients showed a clear increase in most macro- and micronutrients under the combined treatments.

Conclusion: The results indicated that combining foliar applications of zinc and calcium, particularly zinc citrate and calcium citrate, at key stages of fruit development is an effective method for reducing pre-harvest fruit drop and improving the quality of 'Red Delicious' apples. This approach helps balance nutrients in both the leaves and the fruit, making it a practical and efficient management strategy for apple orchards to reduce fruit drop.

Cite this article: Azizi, H., Majidi, A., Ahmadaali, J., Mazlomi Oskoui, M., 2026. The Effect of Foliar Application of Zinc and Calcium Sources on Improving Quality Parameters and Reducing Fruit Drop in Apple. Research Article, *Journal of Soil Research*, 39 (4), pp 401-419.



DOI: <https://doi.org/10.22092/ijsr.2026.370743.791>

Publisher: Soil Science Society of Iran



اثر محلول‌پاشی روی و منابع کلسیم بر بهبود پارامترهای کیفی و کاهش ریزش میوه در سیب

حسین عزیزی^{۱*} (ORCID ID)، عزیز مجیدی^۱، جمال احمد آلی^۲ و رزیتا مظلومی اسکوئی^۳

^۱ بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.

^۲ بخش تحقیقات فنی مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.

^۳ پژوهشکده بیوتکنولوژی صنایع غذایی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۵</p> <p>واژه‌های کلیدی</p> <p>ریزش میوه، سیب رد دلشس، سیترات روی، سیترات کلسیم، عناصر کم‌مصرف، کیفیت میوه.</p> <p>* ایمیل نویسنده مسئول h.azizi@areeo.ac.ir</p>	<p>ریزش قبل از برداشت میوه یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد و کیفیت سیب به‌شمار می‌رود و عناصر تغذیه‌ای به‌ویژه روی و کلسیم نقش مؤثری در کنترل آن دارند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیترات روی و منابع مختلف کلسیم بر کاهش ریزش قبل از برداشت میوه و بهبود کیفیت میوه سیب رقم رد دلشس، طی چهار سال زراعی (از ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳)، در یک باغ تجاری انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و شش تیمار کودی شامل شاهد، سیترات روی، سیترات کلسیم، کلرید کلسیم، سیترات روی + سیترات کلسیم و سیترات روی + کلرید کلسیم و سه زمان محلول‌پاشی اجرا گردید. زمان‌های محلول‌پاشی شامل فن‌دقه شدن + گردویی شدن + دو هفته قبل از برداشت، فن‌دقه شدن + شروع رنگ‌گیری + دو هفته قبل از برداشت، و فن‌دقه شدن + گردویی شدن + شروع رنگ‌گیری + دو هفته قبل از برداشت بود. محلول‌پاشی‌ها با غلظت ۰/۳ درصد سیترات روی، ۰/۳ درصد سیترات کلسیم و ۰/۵ درصد کلرید کلسیم انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد ترکیبی سیترات روی + سیترات کلسیم در چهار مرحله‌ای محلول‌پاشی، بیشترین کاهش درصد ریزش میوه (۱۷/۶۵ درصد) و بهبود پارامترهای کیفی مانند سفتی بافت، مواد جامد محلول و اسیدیته را به‌همراه داشت. این تیمار همچنین موجب کاهش pH و نسبت‌های N/Ca، K/Ca، Mg/Ca و B/Ca گردید. غلظت عناصر کلسیم، روی، بور و منگنز میوه افزایش و غلظت نیتروژن، آهن و پتاسیم آن کاهش یافت. در برگ نیز افزایش قابل‌توجهی در غلظت اکثر عناصر مشاهده شد. در مجموع، استفاده ترکیبی از روی و کلسیم همراه با محلول‌پاشی در مراحل بحرانی رشد میوه، راهکار مناسبی برای کاهش ریزش و بهبود کیفیت میوه سیب ارزیابی شد.</p>

استناد: عزیزی، ح.، مجیدی، ع.، احمد آلی، ج.، مظلومی اسکوئی، ر.، ۱۴۰۴. اثر محلول‌پاشی روی و منابع کلسیم بر بهبود پارامترهای کیفی و کاهش

ریزش میوه در سیب. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش‌های خاک، (۴) ۳۹، ص ۴۰۱-۴۱۹.

DOI: <https://doi.org/10.22092/ijsr.2026.370743.791>



مقدمه

درخت سیب (*Malus domestica Borkh.*) به عنوان یکی از مهم‌ترین میوه‌های مناطق معتدل جهان و ایران، نقشی اساسی در اقتصاد کشاورزی، امنیت غذایی و صادرات محصولاتی باغی ایفا می‌کند. ایران با تولید سالانه بیش از سه میلیون تن سیب، از جمله کشورهای مهم تولیدکننده این محصول در منطقه به شمار می‌رود (FAO, 2021). با وجود پیشرفت‌های فنی در حوزه مدیریت باغداری، یکی از چالش‌های اساسی در تولید سیب به‌ویژه در مناطق عمده‌خیز همچون استان آذربایجان غربی، ریزش زودهنگام میوه‌ها در مراحل انتهایی رشد است. این پدیده موجب کاهش عملکرد نهایی، افت کیفیت تجاری میوه و افزایش خسارت‌های اقتصادی می‌شود (Nouri et al., 2021; Hassani et al., 2013).

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای ویژگی‌هایی مانند pH بالا و مقدار ماده آلی کم هستند. چنین ویژگی‌هایی موجب کاهش قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی و منگنز برای گیاهان می‌شوند (تاشپینار و همکاران، ۲۰۲۵). نتایج تجزیه خاک‌های تحت کشت ایران نیز نشان‌دهنده آن است که کمبود روی در این خاک‌ها به دلایل متعددی از جمله pH بالا، حضور بی‌کربنات بالا در آب آبیاری، آهک زیاد و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاته است (Fathi and Tehrani, 2017). طبق گزارش Ajoudani و Majidi (۲۰۱۷) بیش از ۶۵ درصد خاک باغات سیب استان آذربایجان غربی دارای pH بالای ۷/۸ بوده و در بیش از ۸۹ درصد این باغات کمبود روی به شکل ریزبرگی، جاروئی شدن و کچلی سرشاخه‌ها مشاهده شد. موضوع دیگر مشکل کمبود کلسیم در میوه سیب خصوصاً در مناطق دشت است. در این مناطق با وجود مقدار کافی کلسیم قابل‌دسترس در محیط غذایی ریشه، به دلیل تحرک کم این عنصر حرکت آن به سوی اندام‌های مختلف گیاه خیلی به کندی صورت می‌گیرد (Hocking, 2016). بسیاری از عوارض ناشی از کمبود کلسیم به دلیل توزیع کند کلسیم است (Hocking, 2016). انتقال محدود کلسیم به میوه از برگ‌ها، افزایش غلظت کلسیم میوه را مشکل می‌سازد (Ajodani and majidi, 2017).

ریزش میوه، فرآیندی پیچیده و چندعاملی است که تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی رقم، وضعیت تغذیه‌ای، شرایط محیطی و مدیریت باغ قرار می‌گیرد (Jemric, 2016). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که وضعیت تغذیه‌ای درخت، به‌ویژه تأمین عناصر معدنی، در کاهش این مشکل نقش مؤثری دارد. مسئله

اصلی ریزش به افزایش تولید هورمون اتیلن در اندام‌های هوایی گیاه بر اثر بروز تنش‌های غیر زنده در باغات استان برمی‌گردد. در اثر افزایش غلظت هورمون اتیلن، فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلی‌گالاکتوروناز و سلولاز افزایش یافته و در محل اتصال دم میوه به اسپورها، لایه‌ای بنام لایه جدا کننده از جنس چوب‌پنبه تشکیل شده و ارتباط آوند آبکش میوه با درخت قطع شده و در اثر تکان جزئی میوه ریزش می‌نماید (میر و همکاران، ۲۰۱۵). وجود تعادل در هورمون‌های داخلی درخت در مرحله قبل از برداشت در کنترل ریزش میوه یکی از موضوعات بسیار مهم است (Wang et al., 2024). در میان هورمون‌های گیاهی در مرحله قبل از برداشت میوه، هورمون اکسین نقش مهمی در کنترل هورمون اتیلن و کنترل ریزش میوه دارد (Li, 2023). هورمون اکسین موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های ACC سینتاز و ACC اکسیداز در مسیر بیوسنتز هورمون اتیلن شده و در اثر فعالیت آن، میزان سنتز اتیلن کاهش خواهد یافت (Li, 2023).

عناصر کلسیم و روی نقش اساسی در کنترل تولید هورمون اتیلن در گیاه دارند (Saleem et al., 2022). اسید آمینه تربیتوفان به عنوان پیش‌ماده هورمون اکسین (IAA) بوده و برای سنتز این اسید آمینه، وجود عنصر روی در گیاه ضروری است. در صورت کافی بودن میزان عنصر روی در گیاه، هورمون اکسین کافی در گیاه تولید شده و در نتیجه وجود هورمون کافی از افزایش تولید اتیلن جلوگیری می‌گردد (Gate et al., 2024).

از طرفی کلسیم نیز باعث تثبیت دیواره سلولی شده و با مهار آنزیم‌های سنتزکننده اتیلن از تولید اتیلن جلوگیری نموده و بدین شیوه فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلی‌گالاکتوروناز و سلولاز کاهش می‌یابد (Hocking, 2016). کلسیم همچنین باعث کاهش فعالیت‌های تنفسی شده و قابلیت انبارداری میوه را افزایش می‌دهد. پایداری دیواره سلولی و پایداری غشاهای سلولی ارتباط نزدیکی با میزان سفتی گوشت میوه دارد (Liu, 2019). وجود باندهای کلسیم به صورت پکتات در تیغه‌های میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت گیاهی ضروری است. تخریب پکتات‌ها به‌وسیله آنزیم پلی‌گالاکتورونازها صورت می‌گیرد (Hocking, 2016). زمانی که مقدار کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آنها جلوگیری می‌نماید. کلسیم فرآیندهای درون سلولی و برون سلولی را تغییر داده و رسیدن میوه را به تأخیر می‌اندازد و سرعت تغییر رنگ، نرم شدن و تولید اتیلن نیز توسط کلسیم کمتر می‌شود (Wang et al., 2024).

در تیرماه اندازه‌گیری غلظت عناصر غذائی پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، سدیم و کلسیم) و کم‌مصرف (آهن، روی، منگنز، بور و مس) اقدام شده و نسبت عناصر نسبت نیتروژن به کلسیم، پتاسیم به کلسیم، منیزیم به کلسیم، پتاسیم به کلسیم + منیزیم، بور به کلسیم اندازه‌گیری گردیدند. نمونه برداری از برگ‌های کامل قسمت میانی شاخه‌ها یک‌ساله انجام گردید (Jones et al., 1991). کودهای پایه بر اساس نتایج تجزیه خاک و برگ سال قبل به‌طور یکسان در کلیه تیمارها از طریق چالکود و کودآبیاری اعمال گردید (جدول ۲).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه خاک توصیه کودهای شیمیایی به صورت چالکود کود سولفات پتاسیم: نیم کیلوگرم، سوپرفسفات تریپل: ۳۰۰ گرم، کود گوگرد پودری + تیوباسیلوس: ۷۵۰ گرم، سولفات منگنز: ۱۵۰ گرم، سولفات مس: ۱۰۰ گرم و کود حیوانی پوسیده: ۸ کیلوگرم به ارش هر اصله درخت در کلیه تیمارها به صورت مساوی مصرف گردید و در اردیبهشت و خرداد به ازای هر اصله درخت ۳۵۰ گرم سولفات آمونیوم در هر مرحله همراه آبیاری مصرف گردید. بعد از برداشت میوه در فصل پائیز محلول پاشی فروت ست به نسبت ۲ لیتر فروت‌ست به علاوه یک لیتر آمینو اسید در ۱۰۰۰ لیتر آب در کلیه تیمارها صورت گرفت.

جدول ۲- نتایج تجزیه مرکب برگ در تیرماه و شهریورماه

Table 1. Results of composite leaf Analysis in July and September

نتایج تجزیه برگ در تیرماه									
Results of Leaf Analysis in July									
میلی گرم در کیلوگرم mg/kg					درصد Percent				
بور	مس	روی	منگنز	آهن	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	ازت
B	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	K	P	N
24	9.45	7.13	18.09	144	0.35	0.75	1.80	0.2	2.3
نتایج آنالیز برگ در شهریور ماه									
Results of Leaf Analysis in September									
38	11.02	43.56	24.75	145	0.38	1.47	1.83	0.19	1.92

نیتروژن به روش کج‌لدال (برمنر و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر با روش مولیبدات- وانادات (Cotini, 1980). پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (Chapman and Pratt, 1978). بور از روش رنگ سنجی آزومترین-H (Wolf, 1974). کلسیم و منیزیم و سایر عناصر به روش جذب اتمی اندازه‌گیری گردیدند (Lindsay and Norvell, 1978) روش‌های اندازه‌گیری صفات کیفی سیب مورد مطالعه به شرح ذیل است:

سفتی بافت میوه: برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه از فشارسنج دستی (پنترومتر) استفاده گردید. بدین منظور، تعداد ۱۰ میوه از هر تکرار انتخاب و لایه پوست روی میوه از دو طرف قرینه برداشته شده و نوک دستگاه سفتی سنج به داخل گوشت میوه فرو برده شده و میزان سفتی بافت برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع خوانده شدند.

میزان مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA): برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول و pH، به ترتیب از دستگاه رفراکتومتر دستی و pH متر استفاده گردید. برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون به این صورت که پس از

پس از اتمام محلول پاشی در مرحله قبل از شروع برداشت، میوه‌های ریزش کرده در هر کرت اعم از شاهد و تیمارهای مختلف را جمع‌آوری نموده و تعداد آنها شمارش و توزین گردید. با توجه به شاخص تعداد روز از مرحله تمام گل و انجام تست نشاسته، اقدام به برداشت محصول گردید. برای هر تیمار از هر تکرار مقدار ۸ کیلوگرم میوه به صورت تصادفی از قسمت‌های مختلف تاج درختان (از قسمت‌های داخلی، فوقانی و تحتانی تاج) انتخاب و پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل گردیدند. میوه‌ها برداشت شده به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر منتقل گردیده و در آزمایشگاه سفتی بافت میوه‌ها، pH میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، میزان مواد جامد محلول (TSS) میوه، اندازه‌گیری شدند. عناصر ماکرو (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم) و عناصر میکرو (آهن، روی، بور، منگنز و مس) و نسبت عناصر نیتروژن به کلسیم، پتاسیم به کلسیم، منیزیم به کلسیم، پتاسیم به کلسیم + منیزیم، بور به کلسیم در برگ و میوه با روش‌های متداول مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (Imami, 1994).

تهیه آب میوه و گرفتن عصاره آن با کاغذ صافی وات من با شماره ۴۲ با استفاده از سود ده نرمال تیتر شد و در نقطه پایانی تیتراسیون به کمک pH متر که در ۸/۳-۸/۱ اندازه‌گیری شد، مقدار سود مصرفی یادداشت و بر اساس آن میزان اسیدهای قابل تیتراسیون محاسبه گردید (نیلسن و همکاران، ۲۰۰۵). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها برای صفات مختلف به صورت مرکب برای ۴ سال با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسات میانگین تیمارها با استفاده از روش چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر محلول‌پاشی بر میزان ریزش میوه

ریزش میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) بیانگر معنی دار بودن اثر سال، نوع کود، زمان محلول‌پاشی و اثرات متقابل سال و نوع کود در سطح ۱ درصد و اثرات متقابل نوع کود و زمان محلول‌پاشی در سطح ۵ درصد بر میزان ریزش میوه است (جدول ۳). در مقایسه اثرات متقابل سال و نوع کود، بیشترین میزان ریزش میوه در سال ۲ در شاهد و کمترین میزان ریزش در سال ۴ در تیمار کودی ۵ (سیترات روی + سیترات کلسیم) مشاهده شد، ولی اختلاف معنی‌داری با سال دوم تیمار ۵ کودی و سال اول تیمار ۶ (کلور کلسیم) و تیمار ۳ (سیترات کلسیم) مشاهده نگردید (جدول ۴). در اثر نوع کود بر میزان ریزش میوه، در همه تیمارها با اعمال کود، میزان ریزش میوه در مقایسه با شاهد کاهش یافت، بیشترین میزان ریزش میوه در شاهد (۶۳/۳ کیلوگرم) و کمترین میزان در تیمار کودی ۵ (سیترات روی + سیترات کلسیم) به میزان ۱۹/۱۹ کیلوگرم مشاهده شد. در تیمارهای کودی دوم (سیترات روی)، سوم (سیترات کلسیم)، چهارم (کلور کلسیم) و ششم (سیترات روی + سیترات کلسیم) میزان ریزش در هر درخت به ترتیب ۳۵/۲۸، ۲۶/۷۸، ۴۰/۰۶ و ۳۲/۳۹ کیلوگرم مشاهده گردید (شکل ۱).

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس مرکب ریزش میوه و صفات کیفی میوه
 Table 3. Combined Analysis of Variance Table for Fruit Drop and Fruit Quality Traits

میانگین مربعات Mean Square(MS)						
مواد جامد محلول (TSS)	اسیدیته کل (TA)	pH	سفتی بافت میوه Fruit Firmness	ریزش میوه Fruit Drop	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات Sources of Variation
28.145 *	0.130**	5.239 **	1.544**	2915.26 **	3	سال Year
64.617**	0.297**	10.230**	32.3.236**	8239.827**	5	نوع کود Fertilizer Type
6.977**	0.015**	0.926*	12.409**	737.27**	2	زمان محلولپاشی Foliar Application Time
3.742**	0.76**	0.306 ^{ns}	1.993 **	89.182**	15	سال × نوع کود Year × Fertilizer Type
0.696**	0.008 ^{ns}	0.204 ^{ns}	2.238**	43.459 *	10	نوع کود × زمان محلولپاشی Fertilizer Type × Foliar Application Time
0.502 ^{ns}	/0.001 ^{ns}	0.184 ^{ns}	0.516 ^{ns}	7.968 ^{ns}	6	سال × زمان محلولپاشی Year × Foliar Application
0.302 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.261 ^{ns}	0.282 ^{ns}	10.619 ^{ns}	30	سال × نوع کود × زمان محلولپاشی × سال Year × Fertilizer Type × Foliar Application Tim
0.711 ^{ns}	0.001	0.293	0.126	24.284	136	خطای آزمایشی Error
7.68	6.30	12.69	9.07	13.62		ضریب تغییرات (%) (CV%)

^{ns}، *، ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد

*ns, , and ** denote non-significant, significant at the 5% level, and significant at the 1% level, respectively.

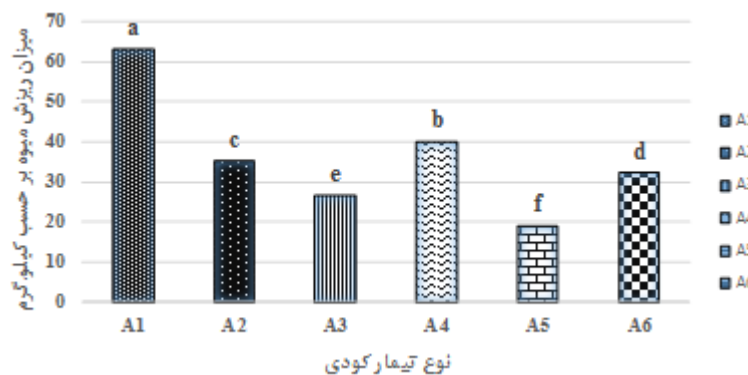
جدول ۴- اثر متقابل سال و نوع کود بر صفات میوه

Table 4. Interaction effect of year and fertilizer type on fruit traits

مواد جامد محلول (%) TSS	اسیدیته کل Titratable Acidity (g 100 ml ⁻¹)	سفتی بافت میوه Fruit Firmness(kg cm ⁻²)	ریزش Fruit Drop(Kg)	تیمار Treatment
15.82 d	0.29 j	4.95 j	56.56 b	Y ₁ A ₁
14.27 gh	0.35 i	5.44 i	28.44 hi	Y ₁ A ₂
13.27 i	0.56 b	11.83c	18.33 kl	Y ₁ A ₃
14.70 efg	0.46 fg	5.72 hi	29.78 hi	Y ₁ A ₄
11.73j	0.59b	13.03a	13.00	Y ₁ A ₅
14.33 gh	0.4 h	5.99 h	20.33 kl	Y ₁ A ₆
17.61a	0.31 j	5.45 i	70.56 a	Y ₂ A ₁
15.36def	0.37i	5.91 h	33.67 g	Y ₂ A ₂
13.21 i	0.54 b	11.15 def	24.67 j	Y ₂ A ₃
14.67efg	0.42 h	5.79 h	38.89 f	Y ₂ A ₄
11.98 j	0.56b	12.62 b	18.89 kl	Y ₂ A ₅
14.51 fgh	0.43 gh	6.3 g	33.44 g	Y ₂ A ₆
15.73 d	0.43 gh	5.44 i	68.67 a	Y ₃ A ₁
15.83d	0.49 def	5.96 h	45.78 d	Y ₃ A ₂
14.33 gh	0.59 b	10.33 e	37.00f	Y ₃ A ₃
16.10 cd	0.5 cde	6.0 h	52.56 c	Y ₃ A ₄
12.99 i	0.65 a	11.78 c	27.78 hi	Y ₃ A ₅
15.23def	0.53c	6.81 f	41.67 e	Y ₃ A ₆
16.11cd	0.43 h	4.96 j	57.56 b	Y ₄ A ₁
16.72 bc	0.47 f	5.97 h	33.22 g	Y ₄ A ₂
15.22 def	0.57 b	10.2 e	27.11 i	Y ₄ A ₃
16.99ab	0.49 def	5.72hi	39.00 f	Y ₄ A ₄
13.72hi	0.63 a	11.7c	17.11 l	Y ₄ A ₅
15.53 de	0.48ef	6.41 g	34.11 g	Y ₄ A ₆

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین آنها است (آزمون دانکن)
Means followed by the same letter within each column are not significantly different at the 5% level according to Duncan's multiple range test.

- | | |
|---|--|
| A _{4a1} : کلرور کلسیم (فندقه شدن+ گردویی شدن+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{a1} : شاهد ۱ |
| A _{4a2} : کلرور کلسیم (فندقه شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{1a2} : شاهد ۲ |
| A _{4a3} : کلرور کلسیم (فندقه شدن+ گردویی شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{1a3} : شاهد ۳ |
| A _{5a1} : سیترات روی + سیترات کلسیم (فندقه شدن+ گردویی شدن+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{2a1} : سیترات روی (فندقه شدن+ گردویی شدن+ ۲۰روز قبل از برداشت) |
| A _{5a2} : سیترات روی + سیترات کلسیم (فندقه شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{2a2} : سیترات روی (فندقه شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) |
| A _{5a3} : سیترات کلسیم (فندقه شدن+ گردویی شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{2a3} : سیترات روی (فندقه شدن+ گردویی شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) |
| A _{6a1} : سیترات روی (فندقه شدن+ گردویی شدن+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{3a1} : سیترات کلسیم (فندقه شدن+ گردویی شدن+ ۲۰روز قبل از برداشت) |
| A _{6a2} : سیترات روی (فندقه شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{3a2} : سیترات کلسیم (فندقه شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) |
| A _{6a3} : سیترات روی (فندقه شدن+ گردویی شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) | A _{3a3} : سیترات کلسیم (فندقه شدن+ گردویی شدن+ تغییر رنگ میوه+ ۲۰روز قبل از برداشت) |



شکل ۱- اثر نوع تیمار کودی بر میزان ریزش میوه

Figure 1. Effect of fertilizer treatment type on fruit drop

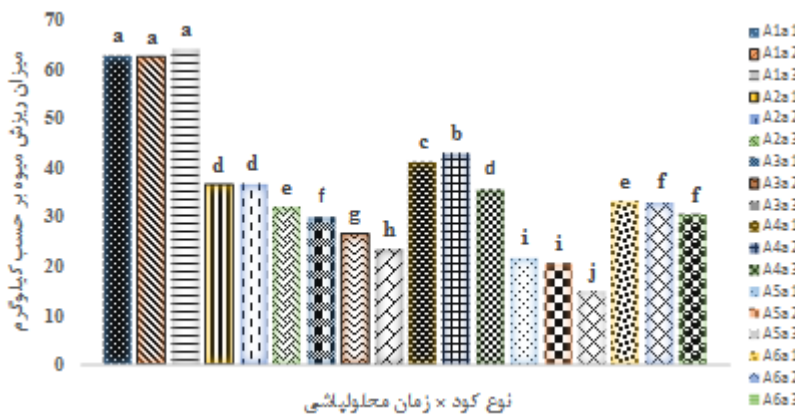
حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین آن‌ها است (آزمون دانکن).

Means followed by the same letter indicate no significant difference at the 5% level according to Duncan's multiple range test.

A1: شاهد
A2: سیترات روی
A3: سیترات کلسیم
A4: کلرور کلسیم
A5: سیترات روی + سیترات کلسیم
A6: سیترات روی + کلرور کلسیم

+ سیترات کلسیم در مراحل (فندقه شدن، گردویی شدن، شروع رنگ گیری میوه و دو هفته قبل از برداشت میوه) مشاهده شد. (شکل ۲).

در مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل نوع کود و زمان محلول‌پاشی بر میزان ریزش میوه، بیشترین ریزش میوه در شاهد (۳۰/۲ درصد) و کمترین مقدار آن (۷ درصد) در تیمار سیترات روی



شکل ۲- اثر متقابل نوع کود و زمان محلول‌پاشی بر میزان ریزش میوه

Figure 2. Interactive effect of fertilizer type and foliar application time on fruit drop

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین آن‌ها است (آزمون دانکن).

Means followed by the same letter indicate no significant difference at the 5% level according to Duncan's multiple range test.

A1a1: شاهد ۱
A1a2: شاهد ۲
A1a3: شاهد ۳
A2a1: سیترات روی (فندقه شدن + گردویی شدن + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A2a2: سیترات روی (فندقه شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A2a3: سیترات روی (فندقه شدن + گردویی شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A3a1: سیترات کلسیم (فندقه شدن + گردویی شدن + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A3a2: سیترات کلسیم (فندقه شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A3a3: سیترات کلسیم (فندقه شدن + گردویی شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A4a1: کلرور کلسیم (فندقه شدن + گردویی شدن + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A4a2: کلرور کلسیم (فندقه شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A4a3: کلرور کلسیم (فندقه شدن + گردویی شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A5a1: سیترات روی + سیترات کلسیم (فندقه شدن + گردویی شدن + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A5a2: سیترات روی + سیترات کلسیم (فندقه شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A5a3: سیترات روی + سیترات کلسیم (فندقه شدن + گردویی شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A6a1: سیترات روی (فندقه شدن + گردویی شدن + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A6a2: سیترات روی (فندقه شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)
A6a3: سیترات روی (فندقه شدن + گردویی شدن + تغییر رنگ میوه + ۲۰ روز قبل از برداشت)

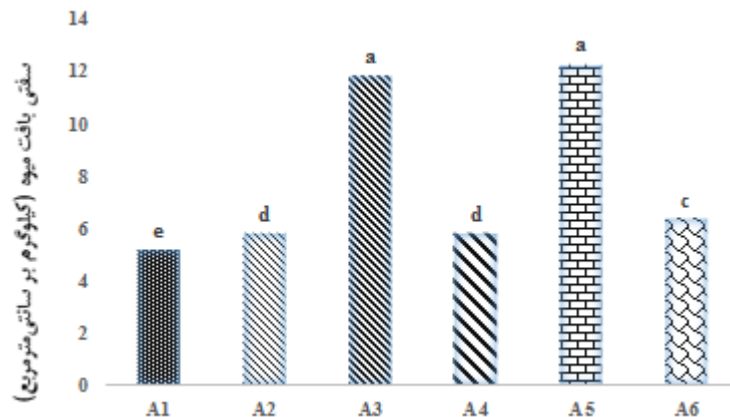
اکسیداز را کاهش داده و مانع افزایش اتیلن می‌شود (Yuan and Carbaugh, 2007; Dal cin., etal; Tsuchisaka and Theologis, 2004). کاهش ریزش میوه در اثر کاربرد کلسیم، به دلیل تقویت دیواره سلولی و غشای سلولی، بهبود استحکام بافت میوه و کاهش تنش‌های فیزیولوژیکی مرتبط با کمبود کلسیم است (Khalaj et al., 2014). روی نیز از طریق نقش خود در سنتز اکسین که به جلوگیری از تشکیل لایه ریزش کمک می‌کند و می‌تواند ریزش میوه را کاهش دهد (smith et al., 2020).

تأثیر بر صفات کیفی میوه سفتی بافت میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر سال، نوع کود، زمان محلول‌پاشی و همچنین اثرات متقابل سال و نوع کود در سطح ۱ درصد بر میزان سفتی بافت میوه است. در مقایسه میانگین‌های اثر نوع کود بر میزان سفتی بافت میوه، مشخص شد که اعمال تیمار کودی میزان سفتی بافت میوه افزایش یافت. بیشترین سفتی بافت در تیمار ۵ کودی (سیترات روی + سیترات کلسیم) و کمترین مقدار در شاهد مشاهده شد. اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۵ (سیترات روی + سیترات کلسیم) با تیمار ۳ (سیترات کلسیم) مشاهده نگردید (شکل ۳).

در مقایسه اثرات متقابل سال و نوع کود، بیشترین میزان ریزش میوه در سال دوم در شاهد و کمترین میزان ریزش در سال چهارم در تیمار کودی پنج (سیترات روی + سیترات کلسیم) مشاهده گردید، ولی اختلاف معنی‌داری با سال دوم تیمار ۵ کودی و سال اول تیمار ۶ (کلرور کلسیم) و تیمار ۳ (سیترات کلسیم) مشاهده نگردید (جدول ۲).

نتایج این مطالعه نشان داد که محلول‌پاشی با ترکیبات روی و کلسیم، به طور معنی‌داری میزان ریزش میوه را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد ($P < 0.05$). این یافته‌ها با تحقیقات پیشین که نقش کلسیم در پایداری دیواره سلولی و روی در متابولیسم هورمونی را تأیید می‌کنند، همسو است (Thor, 2019). عامل اصلی در ریزش میوه‌ها، افزایش تولید هورمون اتیلن در اندام‌های هوایی گیاه است (میر و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش سطح اتیلن، آنزیم‌هایی نظیر پلی‌گالاکتوروناز و سلولاز فعال شده و در ناحیه اتصال دم میوه، یک لایه جداکننده از جنس چوب‌پنبه تشکیل می‌شود که سبب قطع ارتباط آوند آبکش شده و در نتیجه میوه با اندکی حرکت از درخت جدا می‌شود (Meir et al., 2015). در مرحله قبل از برداشت، حفظ تعادل بین هورمون‌های گیاهی برای جلوگیری از ریزش بسیار حائز اهمیت است (Erdal et al., 2016). در این میان، اکسین نقش کلیدی در مهار سنتز اتیلن ایفا می‌کند، به‌گونه‌ای که فعالیت آنزیم‌های ACC سینتاز و ACC



شکل ۳- اثر تیمار کودی بر سفتی بافت میوه

Figure 3. Effect of fertilizer treatment on fruit firmness

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین آن‌ها است (آزمون دانکن).

Means followed by the same letter indicate no significant difference at the 5% level according to Duncan's multiple range test

A4: کلرور کلسیم

A1: شاهد

A5: سیترات روی + سیترات کلسیم

A2: سیترات روی

A6: سیترات روی + کلرور کلسیم

A3: سیترات کلسیم

همکاران (۲۰۱۱) روی انگور مطابقت دارد. در جریان رسیدگی میوه، میزان قندها به دلیل تبدیل نشاسته به ساکارز و سپس تجزیه آن به گلوکز و فروکتوز افزایش می‌یابد. معمولاً در میوه‌های کلیماکتریک، این افزایش مواد جامد محلول ناشی از تجزیه نشاسته ذخیره‌ای است. با این حال، گزارش شده که در شرایطی که غلظت کلسیم در بافت میوه بالاتر باشد، روند تجزیه نشاسته کندتر شده و در نتیجه تجمع قندها کاهش می‌یابد (Raese and Drake., 1993).

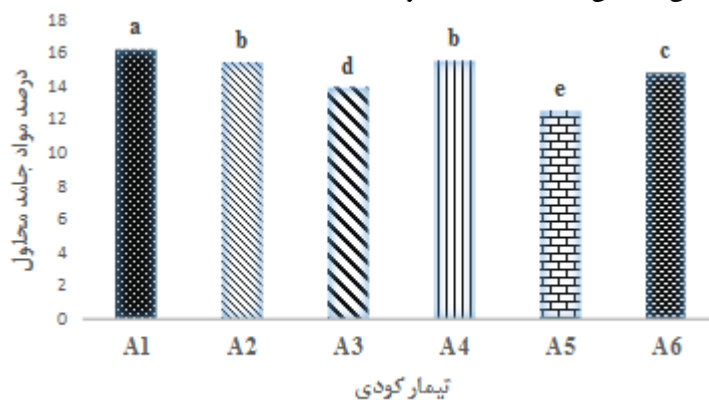
بررسی‌ها نشان داده‌اند که تیمارهایی که منجر به کاهش تولید اتیلن می‌شوند، مصرف قندها را نیز کاهش داده و بنابراین از افزایش سریع مواد جامد محلول جلوگیری می‌کنند. در میوه‌هایی که با محلول‌های کلسیمی تیمار شده‌اند، به دلیل کاهش تولید اتیلن و اثرات کلسیم بر فرآیندهای درون سلولی و برون سلولی، افزایش مواد جامد محلول با تأخیر بیشتری صورت می‌گیرد (Xo et al., 2023). به علاوه، نقش کلسیم در تقویت ساختار دیواره سلولی و پیوند با پکتین‌ها می‌تواند باعث به تعویق افتادن آزادسازی کربوهیدرات‌ها از پلیمرهای دیواره شده و در نتیجه، کاهش سطح مواد جامد محلول در مراحل ابتدایی رسیدگی میوه را به دنبال داشته باشد (Casero et al., 2010).

در مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سال و نوع کود مشخص گردید که بیشترین سفتی بافت میوه به ترتیب در سال اول، دوم، سوم و چهارم در تیمار ۵ (سیترات کلسیم + سیترات روی) مشاهده گردید، ولی اختلاف معنی‌داری بین سال سوم و چهارم مشاهده نگردید (جدول ۴).

مواد جامد محلول (TSS)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) بیانگر معنی دار بودن اثر سال، نوع کود، زمان محلول پاشی و اثر متقابل سال و نوع کود بر درصد مواد جامد محلول میوه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در مقایسه میانگین‌های اثر نوع کود بر میزان مواد جامد محلول با اعمال تیمارهای کودی میزان مواد جامد محلول کاهش یافت و کمترین میزان مواد محلول به ترتیب در تیمار ۵، ۳، ۴ و ۲ مشاهده گردید و اختلاف معنی‌داری بین ۴ و ۲ مشاهده نگردید (شکل ۴). در مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سال و نوع کود مشخص گردید که بیشترین میزان مواد جامد محلول در سال ۴ و کمترین مقدار در سال ۱ مشاهده گردید، ولی اختلاف معنی‌داری بین سال ۱ و ۲ مشاهده نگردید (جدول ۲).

کاهش میزان مواد جامد محلول، با نتایج Alizadeh و همکاران (۲۰۱۳) روی سیب گلدن دلشس، Ghasemnejad و



شکل ۴- اثر تیمار کودی بر درصد مواد جامد محلول

Figure 4. Effect of fertilizer treatment on soluble solids content

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین آن‌ها است (آزمون دانکن).

Means followed by the same letter indicate no significant difference at the 5% level according to Duncan's multiple range test

A4: کلرور کلسیم

A1: شاهد

A5: سیترات روی + سیترات کلسیم

A2: سیترات روی

A6: سیترات روی + کلرور کلسیم

A3: سیترات کلسیم

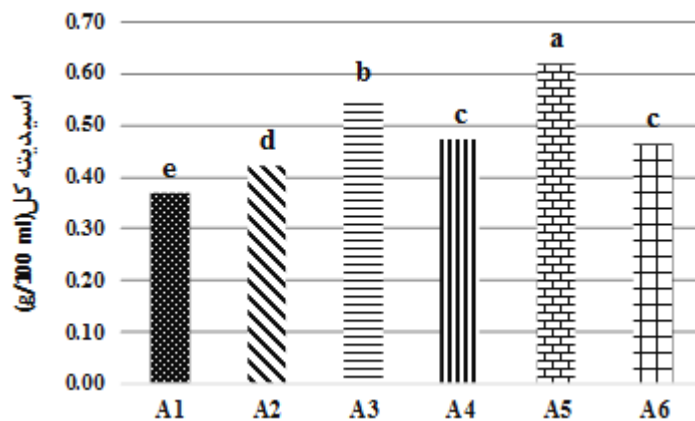
اسیدیته و pH

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) بیانگر معنی دار بودن اثر سال، نوع کود، زمان محلول‌پاشی و اثر متقابل سال و نوع کود در سطح ۱ درصد بر میزان اسیدیته میوه است. در مقایسه میانگین‌های اثر نوع کود بر میزان اسیدیته میوه، در همه تیمارهای با اعمال تیمار کودی میزان اسیدیته افزایش یافت، ولی بیشترین میزان اسیدیته در تیمار ۵ مشاهده گردید و کمترین مقدار در شاهد وجود داشت. اختلاف معنی‌داری بین ۴ و ۶ مشاهده نگردید (شکل ۵). در مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سال و نوع کود مشخص گردید که بیشترین میزان اسیدیته میوه در سال ۳ و کمترین مقدار در سال ۱ و در شاهد مشاهده گردید. اختلاف معنی‌داری بین سال ۱ و ۲ در تیمار کودی ۵ مشاهده نگردید و اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۵ و ۳ در سال ۱ و ۲ مشاهده نگردید (جدول ۲). اسیدیته قابل تیتر یکی از شاخص‌های مهم کیفی میوه‌ها به‌شمار می‌آید که مستقیماً به میزان اسیدهای آلی موجود در آن‌ها وابسته است (Shirzadeh et al., 2010). اسیدهای آلی، همانند کربوهیدرات‌ها، به‌عنوان یکی از منابع مصرفی در فرایند تنفس گیاه ایفای نقش می‌کنند. معمولاً در اغلب میوه‌ها، مقدار این اسیدها در مراحل ابتدایی رشد افزایش یافته و در ادامه با ورود میوه به مراحل رسیدگی، به‌تدریج کاهش می‌یابد (Blanco et al., 2010). کاهش اسیدهای آلی در این مرحله به‌طور عمده ناشی از مصرف آن‌ها در مسیرهای متابولیکی و تبدیل به قند است. در واقع، اسیدهای آلی به‌عنوان منابع ذخیره‌ای انرژی در میوه عمل کرده و هم‌زمان با افزایش فعالیت‌های متابولیکی در

دوره رسیدگی، مصرف می‌شوند (Xo et al., 2023). در تیمار شاهد، احتمال می‌رود که به دلیل افزایش تولید اتیلن، میزان مصرف این اسیدها نیز بیشتر شده باشد؛ در حالی که در تیمارهای حاوی کلسیم، به‌واسطه نقش کاهنده این عنصر بر نرخ تنفس و تولید اتیلن، مصرف اسیدهای آلی محدود شده و در نتیجه کاهش فعالیت‌های تنفسی مشاهده شده است (Chandel et al., 2023).

در مقایسه میانگین‌های اثر نوع کود مشخص گردید که بیشترین pH در تیمار ۱ (شاهد) و کمترین مقدار در تیمار ۵ (سیترات کلسیم + سیترات روی) مشاهده گردید. اختلاف معناداری بین ۲، ۴ و ۶ مشاهده نگردید (شکل ۶). در حالی که اسیدیته میوه افزایش یافت، pH آب میوه کاهش معنی‌داری داشت. این موضوع نشان‌دهنده افزایش محتوای اسیدهای آلی در میوه است که به تازگی و طعم مطلوب میوه کمک می‌کند.

کاهش pH میوه‌ها پس از مصرف ترکیبات کلسیمی در مطالعات متعددی بر روی محصولات باغی مانند سیب، کیوی و انگور گزارش شده است. این کاهش معمولاً به دلیل نقش کلسیم در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی و کاهش تنفس سلولی، کاهش تجزیه ترکیبات آلی اسیدی و محدود کردن فعالیت آنزیم‌های دخیل در نرم شدن بافت است. فردوسی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای روی سیب نشان دادند که محلول‌پاشی با کلرید کلسیم و نیترات کلسیم موجب کاهش معنی‌دار pH میوه شد. آن‌ها این پدیده را به کاهش فعالیت‌های تنفسی و حفظ ترکیبات اسیدی در میوه نسبت دادند.



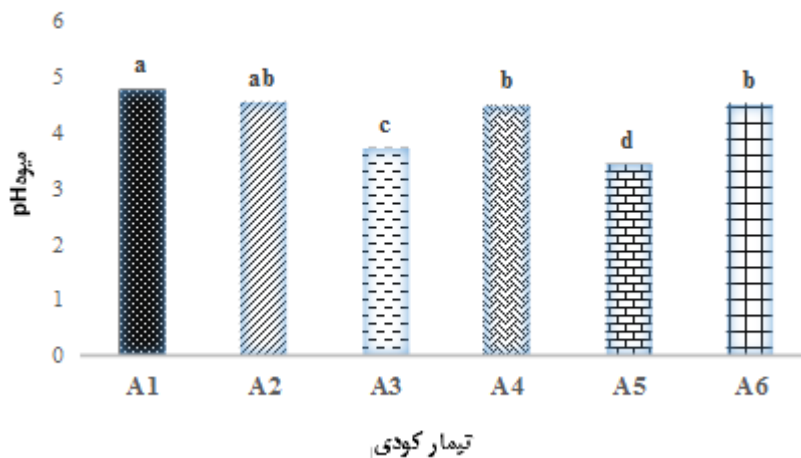
شکل ۵- اثر نوع تیمار کودی بر میزان اسیدیته کل

Figure 5. Effect of fertilizer treatment type on total acidity

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین آن‌ها است (آزمون دانکن).

Means followed by the same letter indicate no significant difference at the 5% level according to Duncan's multiple range test

A4: کلرور کلسیم	A1: شاهد
A5: سیترات روی + سیترات کلسیم	A2: سیترات روی
A6: سیترات روی + کلرور کلسیم	A3: سیترات کلسیم



شکل ۶- اثر نوع تیمار کودی بر میزان pH میوه

Figure 6. Effect of fertilizer treatment type on fruit pH

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین آن‌ها است (آزمون دانکن).

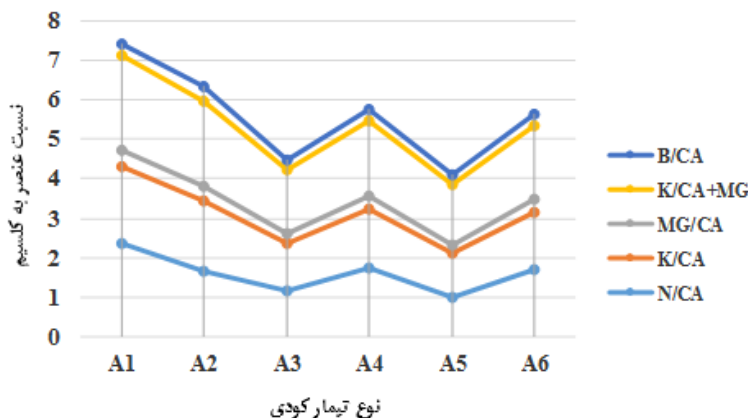
Means followed by the same letter indicate no significant difference at the 5% level according to Duncan's multiple range test

A4: کلرور کلسیم	A1: شاهد
A5: سیترات روی + سیترات کلسیم	A2: سیترات روی
A6: سیترات روی + کلرور کلسیم	A3: سیترات کلسیم

توزیع کلسیم در میوه و ایجاد تعادل تغذیه‌ای بهتر است. عدم تعادل این نسبت‌ها، به ویژه نسبت‌های بالای این عناصر به کلسیم، با اختلالات فیزیولوژیکی و افزایش ریزش میوه مرتبط است (Thur, 2019).

نسبت‌های عناصر در میوه

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی باعث کاهش معنی‌دار نسبت‌های N/Ca ، K/Ca ، Mg/Ca ، $K/(Ca+Mg)$ و B/Ca در میوه شد (شکل ۷). این کاهش نسبت‌ها حاکی از بهبود جذب و



شکل ۷- تأثیر تیمار کودی بر نسبت عناصر به کلسیم

Figure 7. Effect of fertilizer treatment on nutrient-to-calcium ratio

(Zarandi et al., 2019). مصرف منیزیم به صورت خاکی یا محلول‌پاشی می‌تواند باعث کاهش مقدار کلسیم در برگ و اندام‌های هوایی گیاه شود (Wang and Patterson., 1974).

نسبت پتاسیم به مجموع کلسیم و منیزیم $K/(Ca+Mg)$ شاخصی است برای بررسی تعادل کاتیونی در گیاه مفید است. نسبت بالا نشانگر غالب بودن پتاسیم و احتمال کمبود کلسیم و منیزیم است. نسبت‌های بالای $K/(Ca+Mg)$ در گیاهان باعث اختلال در جذب کلسیم و منیزیم می‌شود (Marchner, 2012).

نسبت متعادل بور به کلسیم (Ca/B) نقش مهمی در پایداری دیواره سلولی دارد. نسبت نامتعادل ممکن است منجر به اختلالات رشد و کاهش کیفیت میوه شود. محلول‌پاشی بور و کلسیم در سیب موجب بهبود نسبت B/Ca و بهبود رشد و کیفیت میوه شد (Singh et al., 2007).

محلول‌پاشی سیترات کلسیم موجب کاهش نسبت‌های N/Ca ، K/Ca و Mg/Ca گردید که به نفع افزایش کیفیت میوه است. افزودن سیترات روی نیز ممکن است از طریق تحریک رشد ریشه و افزایش جذب عناصر (به‌ویژه کلسیم) به‌طور غیرمستقیم این نسبت‌ها را متعادل کند.

کاهش نسبت N/Ca در میوه با تحقیق Fallahi و همکاران (۲۰۰۱)، Neilsen و همکاران، (۲۰۰۵) در روی سیب مطابقت دارد. محلول‌پاشی کلسیم باعث کاهش این نسبت و بهبود کیفیت میوه می‌شود (Fallahi et al, 2001). افزایش نسبت بالای نیتروژن به کلسیم با افزایش ریزش میوه و بروز ناهنجاری‌هایی مانند لکه تلخ (bitter pit) همراه است.

دیلمقانی (۲۰۰۵) گزارش داد که کاربرد کلسیم باعث کاهش K/Ca در سیب شد و کیفیت میوه را بهبود داد. افزایش K/Ca معمولاً با کاهش سفتی میوه و افزایش حساسیت به اختلالات فیزیولوژیکی مرتبط است. کلسیم به رقابت با پتاسیم در جذب کمک می‌کند (Hey et al., 2025). نسبت بالای Mg/Ca نیز ممکن است جذب کلسیم را مختل کرده و بر کیفیت میوه اثر منفی داشته باشد. محلول‌پاشی کلسیم باعث کاهش نسبت Mg/Ca در برگ سیب و کاهش bitter pit شد (باتس و همکاران ، ۲۰۱۶). جذب منیزیم و کلسیم به‌شدت رقابتی است (Mengel and Kirkby, 2001).

نسبت کلسیم به منیزیم یکی از عوامل مهم در بقاء گیاه است، چرا که یون‌های این دو عنصر در ریشه برای جذب رقابت می‌کنند (Zarandi et al., 2019). غلظت بالای منیزیم موجب اشباع محل‌های جذب و در نتیجه کاهش جذب کلسیم می‌شود

نتیجه گیری کلی

این مطالعه نشان داد که محلول پاشی ترکیبی سیترات روی و سیترات کلسیم، به ویژه در چهار مرحله کلیدی رشد میوه، به طور مؤثر ریزش قبل از برداشت میوه سیب رقم 'رد دلشس' را کاهش داده و کیفیت میوه را بهبود می بخشد. بین سطح دوم و سوم محلول پاشی تفاوت معنی داری مشاهده نشد. یافته‌ها حاکی از آن است که استفاده هدفمند از این ترکیب در برنامه تغذیه برگ می تواند به عنوان یک راهبرد علمی و عملی برای افزایش ماندگاری، حفظ نسبت‌های متعادل عناصر و ارتقای ارزش بازار میوه به کار گرفته شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی دست‌اندرکاران و همکاران محترم مؤسسه تحقیقات خاک و آب و بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی که در مراحل مختلف این پژوهش از جمله برنامه‌ریزی، اجرا، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، حمایت و همکاری نمودند، صمیمانه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید. مشارکت و راهنمایی‌های ارزشمند آنها نقش بسزایی در پیشبرد و موفقیت این تحقیق داشته است.

References

1. Ajoudani, P., & Majidi, A. (2017). Assessment of the Nutritional Status of Apple Orchards in West Azerbaijan, Iran. *15th Iranian Soil Science Congress*, 6–8 September, Isfahan, Iran.
2. Alizadeh, A., Esfandiari, M., & Yousefi, F. (2013). Effect of Calcium Chloride Foliar Spray on Quantitative and Qualitative Characteristics of 'Golden Delicious' Apple during Storage. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 24(3), 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.000>.
3. Blanco, A., Fernández, V., & Val, J. (2010). Improving the performance of calcium-containing spray formulations to limit the incidence of bitter pit in apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, 127, 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.005>.
4. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-Total. In *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (pp. 595-624). American Society of Agronomy.
5. Buts, K., Hertog, M. L. A. T. M., Ho, Q. T., America, A. H. P., Cordewener, J. H. G., Vercammen, J., Carpentier, S. C., & Nicolai, B. (2016). Influence of pre-harvest calcium, potassium and triazole application on the proteome of apple at harvest. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(15), 4984–4993. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7664>.
6. Casero, T., Benavides, A. L. & Recasens, I. (2010). Interrelation between fruit mineral content and pre-harvest calcium treatments on 'Golden smoothee' apple quality. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 27-37. -4993. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7664>.
7. Chandel, J. S., Sharma, S., & Verma, P. (2019). Effect of calcium sprays on fruit quality and shelf-life of apple (*Malus x domestica*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(9), 1539–1542. <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i9.93521>.
8. Chapman, H.D. and Pratt, P.F. (1978). Methods of analysis for soils, plants and waters. pp. 30-43, In: H. D. Chapman and P. F. Pratt (Eds.), *Division of Agricultural Sciences*. University of California, Berkeley, USA.
9. Cotteni, A. (1980). Methods of plant analysis. pp. 64-100, In: *Soil and Plant Testing, FAO Soil Bulletin*.
10. Dal Cin, V., Danesin, M., Botton, A., Boschetti, A., Dorigoni, A. & Ramina, A. (2008). Ethylene and preharvest drop: the effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). *Plant Growth Regulation*, 56(3), 317–325. <https://doi.org/10.1007/s10725-008-9312-5>.
11. Erdal, A., Kenan, Y., Ozkan, Y., Ozturk, B and Erdem, H. (2016). The effects of aminoethoxyvinylglycine and foliar zinc treatments on pre-harvest drops and fruit quality attributes of Jersey Mac apples, *Scientia Horticulturae*, Volume 213, 173-178.
12. Falahī, N., Ghanbari, M., & Dehghanpour, F. (2001). Effect of Calcium Foliar Spray on Apple Fruit Quality. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 3(1), 65–72.
13. FAO (2021). *FAOSTAT Statistical Database*. [online] Available at: <https://www.fao.org/faostat/en>
14. Fathi, M., & Tehrani, M. (2017). Relationship Between Zinc Deficiency and Some Soil Properties and Landforms in Calcareous Lands of Isfahan Province. *15th Iranian Soil Science Congress*, 6–8 September, Isfahan, Iran.
15. Gate, T., Zhang, Y., & Alonso, J. M. (2024). AtIAR1 is a zinc transporter that regulates auxin metabolism in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*, 75 (3), 890–904. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad468>
16. Ghasemnezhad, M., Shiri, M. A., & Sanavi, M. (2011). Effect of postharvest calcium and zinc sprays on storability, quality attributes and antioxidant activity of table grapes (*Vitis vinifera* L. cv. Bidaneh Sefid). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 10(4), 537–543.
17. Hassani, G., Simani, H., & Rezaei, R. (2013). Climate Change and Pre-harvest

- Fruit Drop in Apple Trees. *Proceedings of the 2nd National Conference on Climate Change and Its Impact on Agriculture and the Environment*, Urmia, Iran.
18. He, Y., Su, K., Wang, L., Zhou, J., Sun, S., Wang, J., & Xing, G. (2025). Modulation of potassium-to-calcium ratio in nutrient solution improves quality attributes and mineral composition of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. *Agronomy*, 15(6), 1380. <https://doi.org/agronomy15061380/0.3390>.
 19. Hocking, B., Tyerman, S. D., Burton, R. A., and Gilliam, M. (2016). Fruit calcium: Transport and physiology. *Frontiers in Plant Science*, 7, 569– 673. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00569>
 20. Ihayai, A., & Behbani Zadeh, M. (1997). Standard methods of the Soil and Water Research Institute for sample preparation and analysis. *Journal of Soil and Water Research*, 12(3), 45-60.
 21. Imami, A. (1991). *Plant Analysis Methods*. Volume 1, Soil and Water Research Institute, Publication No. 982.
 22. Jemrić, T. (2016). Bitter pit in apples: Pre- and postharvest factors: A review*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(4), e08R01. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016144-8491>
 23. Jones, J.B. Jr., Wolf, B. & Mills, H.A. (1991). *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide*. Micro-Macro Publishing, Athens/New York, 199.
 24. Khalaj, K., Ahmadi, N., & Souri, M.K. (2014). Effects of Calcium and Boron Foliar Application on Fruit Quality of Asian Pear Cultivar ‘KS10.’ *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 4(14), 89–97.
 25. Li, J., Sun, X., Zhang, X., & Wang, Q. (2023). Phytohormones and candidate genes synergistically regulate preharvest fruit drop in apple. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/>
 26. Liu, B., Li, H., Guo, H., & Wang, Y. (2019). Changes in fruit firmness, quality traits, and cell wall metabolism during storage of apple as affected by calcium treatments. *Scientia Horticulturae*.
 27. Marschner, H. (2012). *Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. Academic Press.
 28. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd ed. Academic Press, New York.
 29. Meir, S.; Sundaresan, S.; Riov, J.; Agarwal, I.; Philosoph-Hadas, S.(2015). Role of auxin depletion in abscission control. *Stewart Postharvest Rev.*11, 1–15.
 30. Meir, S.; Sundaresan, S.; Riov, J.; Agarwal, I.; Philosoph-Hadas, S.(2015). Role of auxin depletion in abscission control. *Stewart Postharvest Rev.*11, 1–15.
 31. Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of Plant Nutrition* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.
 32. Moradinajad, F., Sepehri, S., Asghari, M.R., & Azarmi, A. (2023). Effect of Pre-harvest Spray of Calcium Salts on Some Qualitative Properties of Golden Delicious Apple. *13th Horticultural Sciences Congress*, 27–30 September, Gorgan, Iran.
 33. Lindsay, W. L. & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421–428.
 34. Neilsen, G., Neilsen, D., Dong, SH., P. Toivonen. and F. Peryea. (2005). Application of CaCl₂ sprays earlier in the season may reduce bitter pit incidence in Braeburn apple. *HortScience*, 40 (6): 1850-1853.
 35. Nouri, H., Basirat, M., Pir-Moradian, M., Majidi, A., Hassani, G., Taife-Rezaei, H., & Amani, A. (2021). Management of Apple Fruit Drop in West Azerbaijan Province. *Scientific-Technical Report*, Agricultural Education and Extension Institute, Tehran.
 36. Raese, J. T., & Drake, S. R. (1993). Effects of preharvest calcium sprays on apple and pear quality. *Journal of Plant Nutrition*, 16(9), 1807–1819. <https://doi.org/10.1080/0190416930936466>

37. Rasooli-Sedghiani, M., Maghdes-Gerani, M., Ashrafi-Saeidlou, S., & Sepehr, A. (2017).
38. Saleem, M. H., Ali, S., Hussain, S., Kamran, M., Chattha, M. S., Ahmad, S., ... & Zhang, Q. (2022). Functions and strategies for enhancing zinc availability in crops: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 891087.
39. Salman, M., Ullah, S., Razzaq, K., Rajwana, I. A., Akhtar, G., Faried, H. N., Hussain, A., Amin, M., & Khalid, S. (2022). Combined foliar application of calcium, zinc, boron and time influence leaf nutrient status, vegetative growth, fruit yield, fruit biochemical and anti-oxidative attributes of "Chandler" strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 45(18), 1837-1848.
40. Shirzadeh, E., Rabiei, V. and Y. Sharafi. (2011). Effect of calcium chloride (CaCl₂) on postharvest quality of apple fruits. *African Journal of Agricultural Research* 6 (22): 5139-5143.
41. Singh, R., Sharma, R., & Khan, F. (2007). Pre-harvest foliar application of calcium and boron in apple cultivars under temperate conditions: its effects on yield and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 111(2), 165-171.
42. Smith, J. A., Jones, B. C., & Davis, R. M. (2020). Impact of foliar zinc application on apple fruit quality and pre-harvest drop. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 700-712.
43. Thor, K. (2019). Calcium—Nutrient and messenger. *Frontiers in Plant Science*, 10, 440.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00440>
44. Tsuchisaka, A. and Theologis, A. (2004). Unique and overlapping expression patterns among the Arabidopsis 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase gene family members. *Plant Physiol.* 136, 2982–3000.
45. Wang, J., Li, Y., Chen, Z., & Zhang, H. (2024). *Signaling pathways mediating the induction of preharvest fruit drop in litchi*. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1474657.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1974.03615995003800020008>.
46. Wang, M. C., & Patterson, R. E. (1974). Interaction of magnesium and calcium in plant nutrition. *Soil Science Society of America Journal*, 38(2), 206–210.
47. Wolf, B. (1974). Determination of boron in plant tissues by the azomethine-H method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 5(5), 437-444.
48. Xu, Y., Li, X., Zhang, Z., Zhang, L., Gao, Z., Wang, J., & Chen, K. (2023). Exogenous Ca²⁺ promotes transcription factor-mediated suppression of ethylene biosynthesis during apple fruit storage. *Plant Physiology*, 191(4), 2475–2490.
49. Yuan, R. and Carbaugh, D. (2007). Effects of NAA, AVG, and 1-MCP on ethylene biosynthesis preharvest fruit drop, fruit maturity and quality of 'Golden Supreme' and 'Golden Delicious' apples. *Hortscience* 42, 101–105.
50. Zarandi-Miandoab, S., Sharifi, M., & Ali-Mohammadi, R. (2019). Competitive Uptake of Magnesium, Calcium, and Potassium by Tomato Plants. *Iranian Journal of Soil and Plant Research*, 32(1), 89–97.