University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Effect of Foliar Application of Potassium Nitrate, Calcium Nitrate, and Boric Acid on Reduction of Pre-harvest Fruit Splitting of Page Mandarin

Babak Adouli[1] | Bijan Moradi[2] | Mohammad Ali Shiri[3]✉ | Masoumeh Kiaeshkevarian[4]

1. Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: b.adouli@areeo.ac.ir
2. Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: b.moradi@areeo.ac.ir
3. Corresponding Author, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: ma.shiri@areeo.ac.ir
4. Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: m.kiaashkevarian@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 27 October 2021
Received in revised form:
22 March 2022
Accepted: 11 April 2022
Published online:
17 December 2022

Keywords:
Cell density of blossom-end,
fruit quality,
fruit weight,
polygalacturonase,
yield.

ABSTRACT

Pre-harvest citrus fruit splitting is a physiological disorder that causes significant damage to producers of susceptible cultivars by reducing the amount of crop available on the market. Proper management of tree nutrition and paying special attention to the three key elements of potassium, calcium, and boron, which are involved in the strength of cell walls and fruit peel flexibility, can be effective in reducing the fruit splitting severity. Therefore, an experiment has been carried out in the Ramsar (Citrus and Subtropical Fruits Research Center) during 2018 and 2019 to investigate the effects of foliar application of 1.0% potassium nitrate, 1.0% calcium nitrate, and 0.5% boric acid at the end of June drop on reducing the severity of splitting and some fruit traits of Page mandarin. This study is performed according to a combined analysis in time with two factors including years of experimentation and different treatments of foliar application of nutrients, based on randomized complete block design with three replications. The results show that the treatments especially 1.0% potassium nitrate have reduced pre-harvest fruit splitting, increased the yield, and improved the quantitative and qualitative fruit traits. However, they have had no significant effect on the activity of polygalacturonase enzyme, cell density of blossom-end, and navel diameter. Overall, foliar application of nutrients, especially 1.0% potassium nitrate, could be suggested as an effective approach to control pre-harvest fruit splitting and boost the quantity and quality of page mandarin fruit.

Cite this article: Adouli, B., Moradi, B., Shiri, M. A., & Kiaeshkevarian, M. (2022). Effect of Foliar Application of Potassium Nitrate, Calcium Nitrate, and Boric Acid on Reduction of Pre-harvest Fruit Splitting of Page Mandarin. *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1435-1450. DOI: http://doi.org/10.22059/jci.2022.333003.2632

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http://doi.org/10.22059/jci.2022.333003.2632

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

اثرات محلول‌پاشی برگی با نیترات‌پتاسیم، نیترات‌کلسیم و بوریک‌اسید بر کاهش ترکیدگی قبل از برداشت نارنگی 'پیج'

بابک عدولی[۱] | بیژن مرادی[۲] | محمد علی شیری[۳]✉ | معصومه کیااشکوریان[۴]

۱. پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران. رایانامه: b.adouli@areeo.ac.ir

۲. مربی پژوهشی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران. رایانامه: b.moradi@areeo.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران. رایانامه: ma.shiri@areeo.ac.ir

۴. پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران. رایانامه: m.kiaashkevarian@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

کلیدواژه‌ها:
پلی‌گالاکتوروناز،
تراکم سلولی گلگاه،
عملکرد،
کیفیت میوه،
وزن میوه.

چکیده

ترکیدگی قبل از برداشت میوه مرکبات نابسامانی فیزیولوژی می‌باشد که با کاهش مقدار محصول قابل‌عرضه به بازار، خسارت قابل‌توجهی را به تولیدکنندگان ارقام حساس وارد می‌کند. مدیریت درست تغذیه درختان و توجه ویژه به سه عنصر کلیدی پتاسیم، کلسیم و بور که در استحکام دیواره‌های سلولی و یکپارچگی پوست میوه نقش دارند، می‌تواند در کاهش شدت ترکیدگی مؤثر باشد. بر این اساس، آزمایشی به‌منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی برگی نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد در زمان پایان ریزش جودرو بر کاهش شدت ترکیدگی و برخی صفات میوه نارنگی 'پیج' در رامسر (پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری) طی دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام گرفت. این پژوهش به‌صورت تجزیه مرکب در زمان شامل دو فاکتور سال‌های انجام آزمایش و تیمارهای مختلف محلول‌پاشی عناصر غذایی بود که در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که تیمارها به‌ویژه نیترات‌پتاسیم یک درصد شدت ترکیدگی قبل از برداشت میوه را کاهش داده و موجب افزایش محصول و بهبود صفات کمی و کیفی میوه شدند، اما در عین حال بر فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز، تراکم سلولی گلگاه و قطر ناف بی‌اثر بوده‌اند. در نهایت، می‌توان محلول‌پاشی برگی عناصر غذایی به‌ویژه نیترات‌پتاسیم یک درصد را به‌عنوان روشی مؤثر برای کنترل ترک‌خوردگی قبل از برداشت و افزایش کمیت و کیفیت میوه نارنگی 'پیج' پیشنهاد کرد.

استناد: عدولی، ب.، مرادی، ب.، شیری، م. ع. و کیااشکوریان، م (۱۴۰۱). اثرات محلول‌پاشی برگی با نیترات‌پتاسیم، نیترات‌کلسیم و بوریک‌اسید بر کاهش ترکیدگی قبل از برداشت نارنگی 'پیج'. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴ (۴)، ۱۴۳۵-۱۴۵۰. DOI: http://doi.org/10.22059/jci.2022.333003.2632

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

ترکیدگی قبل از برداشت میوه نابسامانی فیزیولوژی است که موجب کاهش تعداد میوه‌های سالم و بازارپسند تولیدشده در مرکبات و بسیاری دیگر از انواع میوه‌ها می‌شود. نبود شرایط رشد بهینه در نخستین مرحله رشد میوه مرکبات می‌تواند مانع رشد و توسعه مناسب سلول‌های پوست شده و به این ترتیب، در مرحله دوم رشد میوه (آب‌گیری گوشت)، فشار داخلی واردشده بر پوست باعث به بروز شکاف و ایجاد ترک در پوست خواهد شد. این پدیده همه‌ساله خسارت اقتصادی زیادی را به تولیدکنندگان رقم‌های حساس از جمله پرتقال‌های نافدار و برخی از ارقام نارنگی مانند 'پیج' وارد می‌کند (Juan & Jiezhong, 2017; Alikhani *et al*., 2020). نارنگی زودرس رقم پیج یکی از ارقام مهم تجاری مرکبات شمال کشور است که سطح کشت قابل‌توجهی را به خود اختصاص داده است. ازآنجایی‌که عارضه ترکیدگی قبل از برداشت میوه در رقم پیج به دلایل مختلف از جمله نازکی و پایین‌بودن درجه انعطاف‌پذیری پوست و هم‌چنین شکل هندسی میوه‌ها از شدت بالایی برخوردار بوده و هر ساله باعث حذف درصد قابل‌توجهی از میوه‌های تولیدی می‌شود، یافتن راه‌کارهایی که بتواند موجب کاهش این ضایعات شده و مقدار محصول روانه‌شده به بازار را افزایش دهد از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود. نابسامانی ترکیدگی قبل از برداشت اگرچه اغلب از ترک‌های ریز و نامشخص در ناحیه گلگاه آغاز می‌شود اما به‌تدریج به شکاف‌های بزرگی تبدیل شده و ممکن است باعث قاچ‌شدن کامل میوه شود. بخش قابل‌توجهی از میوه‌های ترک خورده قبل از بلوغ ریزش می‌کنند و مابقی میوه‌های ترک‌خورده نیز قابلیت عرضه به بازار را نخواهند داشت. علاوه بر این، اگر میوه‌های ترکیده‌ای که ظاهر سالمی دارند به سردخانه منتقل شده باشند، پوسیدگی‌های انباری در میوه‌های سالم نیز تشدید شده و زیان اقتصادی قابل‌توجهی را متوجه تولیدکننده خواهد کرد (Cronjé *et al*., 2014; Khadivi-Khub, 2015; Wang *et al*., 2021). وجود ترک‌های نامشخص در پوست میوه‌های انبارشده مرکبات می‌تواند ضمن تسریع خروج آب از میوه‌ها و افزایش سرعت کاهش وزن میوه باعث چروکیدگی زودهنگام و کاهش کیفیت ظاهری و درونی میوه‌ها شده و انبارمانی محصول را به‌شدت کاهش دهد. ترکیدگی قبل از برداشت هم‌چنین باعث می‌شود که میوه‌های ترک‌خورده روی شاخه‌ها یا سطح زمین، به جایگاهی مناسب برای گسترش قارچ‌ها و باکتری‌ها تبدیل‌شده و بهداشت باغ را تهدید کنند. علاوه بر این، واکس‌ها یا مواد شوینده به‌کاررفته در عملیات بعد از برداشت از راه شکاف‌های موجود در سطح میوه‌های ترکیده وارد بافت میوه شده و ضمن کاهش کیفیت محصول موجب برخی مشکلات بهداشتی برای مصرف‌کنندگان می‌شوند (Singh *et al*., 2020; Wang *et al*., 2021).

کمبودهای تغذیه‌ای یکی از عوامل اصلی بالابودن درصد ضایعات محصول مرکبات در مراحل قبل یا بعد از برداشت است. برآوردها نشان داده است که حدود ۲۲ و گاهی تا بیش از ۳۵ درصد میوه‌های برداشت‌شده مرکبات به‌دلیل مدیریت غلط تغذیه از بین‌رفته و قابلیت عرضه به مشتری را از دست می‌دهند (Ramezanian *et al*., 2017). یکی از راه‌کارهای مؤثر برای کاهش خسارت‌های ناشی از کیفیت پایین میوه و درصد بالای تلفات محصول در مراحل قبل یا بعد از برداشت، افزایش درجه استحکام بافت میوه است که می‌تواند راه‌کاری ارزشمند برای افزایش بهره‌وری منابع تولید و ارتقای درآمد اقتصادی باغداران محسوب شود. در موضوع مدیریت تغذیه، توجه به عرضه مناسب سه عنصر کلسیم، پتاسیم و بور نقش مهمی را می‌تواند ایفا نماید (Lewis, 2019; Hardiyanto & Friyanti, 2019; Lopez-Zaplana *et al*., 2020).

بررسی‌ها نشان داده است که بخش قابل‌توجهی از نابسامانی فیزیولوژی مربوط به میوه‌ها از جمله ترکیدگی قبل از برداشت مرکبات مربوط به پایین‌بودن محتوای کلسیم در بافت میوه است. کمبود کلسیم در درجه اول می‌تواند باعث نمو نامطلوب تیغه میانی و دیواره سلولی در پوست میوه‌ها شده و استحکام فیزیکی پوست را کاهش دهد و از طرف دیگر موجب ضخیم‌شدن دیواره سلولی سلول‌های پوست و کاهش قابلیت انعطاف آن خواهد شد که در نهایت این اثرات سبب

افزایش ابتلای میوه‌ها به نابسامانی ترکیدگی پوست خواهند شد (Hardiyanto & Friyanti, 2019; Winkler & Knoche, 2019). کلسیم عنصری مؤثر در تشکیل دیواره سلولی و دخیل در بخش قابل‌توجهی از ویژگی‌های مکانیکی بافت‌های گیاهی بوده (Shiri *et al*., 2016) و می‌تواند نقش مهمی در کنترل ترکیدگی قبل از برداشت داشته باشد (Lopez-Zaplana *et al*., 2020). ازآنجایی‌که کودهای کلسیمی اضافه‌شده به خاک به‌راحتی قابل استفاده برای مراکز مصرف (میوه‌ها) نبوده و انتقال این عنصر در درون گیاه به کندی صورت می‌گیرد، کوددهی به خاک نمی‌تواند مانع بروز عوارض فیزیولوژی مربوط به کمبود این عنصر از جمله ترکیدگی قبل از برداشت شود. همین موضوع باعث شده است تا محلول‌پاشی کلسیم راه‌کار اصلی برای کاهش شدت ترکیدگی باشد (Ramezanian *et al*., 2010). تجمع فسفر یکی دیگر از پیامدهای کمبود پتاسیم است که موجب پایین‌آمدن سطح کلسیم حاضر در ساختمان دیواره سلول‌های پوست شده و استحکام دیواره‌های سلولی را کاهش می‌دهد. تجمع فسفر هم‌چنین باعث افزایش تولید فسفات‌کلسیم و تشکیل رسوب آن در دیواره سلول‌ها می‌شود که کاهش بیش‌تر استحکام دیواره سلولی را در پوست میوه به‌دنبال دارد و شدت ابتلا به نابسامانی ترکیدگی قبل از برداشت را افزایش می‌دهد (Zekri & Rouse, 2002; Sheikh & Manjula, 2012).

پتاسیم در مقاومت مکانیکی و نمو پوست دخالت داشته و درختان مبتلا به کمبود این عنصر به‌طور کلی دارای میوه‌هایی با پوست نازک‌تر و صاف‌تر از میوه‌های درختان فاقد این کمبود هستند. این نقش پتاسیم باعث می‌شود تا در شرایط کمبود آن، سلول‌های پوست در مرحله دوم رشد میوه، مقاومت مکانیکی پایینی داشته و تحمل لازم برای فشار داخلی ناشی از آب‌گیری و افزایش حجم میوه را نکند و دچار ترکیدگی شود. ازآنجایی‌که بین محتوای پتاسیمی برگ مرکبات و درصد میوه‌های ترک خورده ارتباط معکوسی وجود دارد، بهبود وضعیت پتاسیمی می‌تواند شیوع ترکیدگی را کاهش دهد (Mokhtarzadeh & Shahsavar, 2020; Alikhani *et al*., 2020).

بور یکی دیگر از عناصر ریزمغذی و مهم در نمو دیواره سلولی و هم‌چنین فرایندهای تقسیم سلولی، توسعه آوندهای آبکشی، انتقال قندها، سوخت‌وساز نیتروژن و فسفر و هم‌چنین جذب نمک‌هاست. بسیاری از ویژگی‌های میوه مانند ضخامت پوست و صفات فیزیکی کوتیکول و هم‌چنین تعداد لایه‌های هیپودرمی و نیز شکل و اندازه میوه که همگی در تعیین شدت ترکیدگی میوه‌ها مؤثرند، تحت تأثیر محتوای این عنصر قرار دارند و لذا کمبود بور می‌تواند نقش مهمی در افزایش شدت ترکیدگی قبل از برداشت میوه داشته باشد (Khalil & Aly, 2013; Ghanbarpour *et al*., 2019).

پژوهش‌های پیشین نشان داده است که فعالیت آنزیم‌های مؤثر در استحکام دیواره سلولی می‌تواند جنبه‌ای مهم در تعیین شدت ترکیدگی قبل از برداشت در برخی از گونه‌های گیاهی باشد. بر این اساس مشخص شده است که در میوه‌های ترک‌خورده مرکبات، فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز حدود ۱۳۱ درصد بالاتر از میوه‌های سالم بوده است (Cronjé *et al*., 2014). به این ترتیب اندازه‌گیری سطح فعالیت آنزیم‌های مؤثر در حفظ استحکام دیواره‌های سلولی در شرایط معمول و نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی می‌تواند جنبه‌ای کاربردی برای بررسی موضوع ترکیدگی قبل از برداشت میوه مرکبات باشد.

ضرورت معرفی شیوه‌ای مؤثر و کاربردی به تولیدکنندگان مرکبات کشور برای کاهش شدت ترکیدگی قبل از برداشت میوه در ارقام حساسی مانند نارنگی ’پیج‘ که در شرایط اقلیمی سال‌های اخیر و کاهش بارش‌های بهاری افزایش بیش‌تری داشته است، موضوعی اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر، به‌دلیل آن‌که شرایط نامساعد محیط رشدی مانند مناسب‌نبودن نسبت موجود بین عناصر تغذیه‌ای و کمبود یک یا چند عنصر کلیدی در ایجاد استحکام فیزیکی سلول‌های پوست می‌تواند موجب افزایش شدت ترکیدگی قبل از برداشت باشد، استفاده از یک برنامه تغذیه‌ای مناسب مبتنی بر تغذیه متعادل و رفع سریع کمبودهای ایجادشده در دوره‌های بحرانی رشدونمو میوه‌ها با استفاده از محلول‌پاشی برگی

می‌تواند خسارت این نابسامانی را تا حد زیادی کاهش دهد. بر این اساس، آزمایش حاضر در دو سال اجرا شد تا اثرات ناشی از محلول‌پاشی تاج درختان نارنگی رقم پیج با ترکیب‌های مختلفی از سه ماده معدنی نیترات‌پتاسیم، نیترات‌کلسیم و بوریک‌اسید بر شدت این نابسامانی فیزیولوژی، فعالیت پلی‌گالاکتورناز بافت میوه و هم‌چنین بر کمیت و کیفیت محصول موردارزیابی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌صورت تجزیه مرکب در زمان شامل دو فاکتور سال‌های انجام آزمایش و تیمارهای مختلف محلول‌پاشی عناصر غذایی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی درختان ۲۵ ساله نارنگی رقم پیج [(*Citrus clementina* × (*C. reticulata* cv. Dancy × *C. paradisi* cv. Duncan)] پیوندی روی پایه سیترومِلو (*Poncirus trifoliata* × *C. paradisi* cv. Duncan) با هدف کاهش ترکیدگی قبل از برداشت و بهبود صفات عملکردی و انبارمانی این رقم با تیمارهای تغذیه‌ای انجام شده است. محل اجرای پژوهش پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری شهرستان رامسر (۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی) با شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری بوده است. تغییرات سالانه رطوبت نسبی و درجه حرارت در این مکان به‌ترتیب در محدوده ۵۵ تا ۱۰۰ درصد و یک تا ۳۶ درجه سانتی‌گراد در نوسان بوده و بارش سالیانه حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر است که بخش عمده آن مربوط به شهریورماه تا اردیبهشت‌ماه است و در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد، تبخیر بیش‌تر از بارندگی بوده است.

درختان آزمایشی در ردیف‌های شمالی جنوبی با فاصله ۸×۴ متر کاشته شده و همگی از نظر وضعیت رشدونموی و اجرای عملیات باغبانی (هرس، آبیاری، تغذیه و مبارزه با آفات و علف‌های هرز) شرایط یکسانی داشتند. کوددهی در اواخر اسفندماه به شکل چال‌کود انجام شد و برای هر درخت مقادیر زیر درنظر گرفته شد:

سولفات‌آمونیم ۵۰۰ گرم؛ اوره ۵۰۰ گرم، سولفات‌پتاسیم ۴۰۰ گرم، سوپرفسفات‌تریپل ۴۰۰ گرم و سولفات‌منیزیم ۱۰۰ گرم.

کنترل علف‌های هرز باغ به‌صورت مکانیکی طی چندین مرحله به‌صورت فیزیکی توسط علف‌زن موتوری انجام شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای تحت فشار، از اواسط اردیبهشت‌ماه تا اواسط مهرماه براساس برنامه آبیاری قطعات آزمایشی در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری صورت گرفت که در این برنامه، در ماه‌های کم‌بارش، هر سه هفته یک‌بار آبیاری انجام شد. در این مورد لازم به ذکر است، از ابتدای خردادماه تا پایان مردادماه با توجه به عدم وجود بارش قابل‌توجه در منطقه، هر سه هفته یک بار آبیاری به میزان ۱۰۰ لیتر آب برای هر درخت استفاد. قبل از شروع آزمایش و پیش از اعمال تیمارهای کودی، نمونه خاک از دو عمق ۳۰–۰ و ۶۰–۳۰ سانتی‌متری برداشت و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی خاک در آغاز اجرای پژوهش.

عمق خاک (cm)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	واکنش خاک	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-2}$)	کربن آلی (%)	نیتروژن (%)
۳۰–۰	۳۴	۲۴/۷	۴۱/۳	۶/۵۳	۰/۱۴۷	۱/۷۵	۰/۲۲
۶۰–۳۰	۲۳/۷	۲۸/۹	۴۷/۴	۷/۱۷	۰/۲۰۴	۱/۱۷	۰/۱۶
	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	بور (ppm)	مس (ppm)	منگنز (ppm)	آهن (ppm)	
۳۰–۰	۹/۷	۱۲۳/۸	۰/۰۹	۲/۱۶	۶/۴۴	۲۳/۵	
۶۰–۳۰	۹/۸۲	۱۱۳/۵	۰/۱۱	۲/۰۵	۶/۴۷	۲۴/۲	

تهیه گزارش هواشناسی منطقه و یادداشت‌برداری داده‌های هواشناسی منطقه در سال‌های اول و دوم یکی دیگر از مراحل اجرایی این پروژه بوده است که خلاصه نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. شرایط اقلیمی منطقه اجرای آزمایش در سال‌های اول و دوم.

عامل اقلیمی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
سال اول (۱۳۹۷)												
بارش (mm)	۳۶/۲	۲۷/۳	۶۲/۰	۳۲/۱	۶۱/۸	۱۲۶/۴	۵۱۶/۳	۱۳۱/۵	۲۱۸/۸	۷۵/۷	۱۶۶/۹	۷۲/۴
دمای روزانه (°C)	۱۳/۰	۱۸/۰	۲۲/۷	۲۸/۳	۲۷/۷	۲۵/۸	۲۱/۰	۱۶/۴	۱۳/۱	۱۰/۲	۹/۰	۹/۹
رطوبت نسبی (٪)	۸۳	۸۲	۷۹	۷۶	۷۹	۷۸	۸۲	۸۲	۸۶	۸۰	۸۶	۸۲
سال دوم (۱۳۹۸)												
بارش (mm)	۲۰۹/۷	۳۴/۵	۵۰/۶	۱۹۳/۴	۳۶/۷	۱۸۰/۶	۲۳۵/۷	۱۹۶/۲	۲۴۱/۸	۶۳/۳	۷۵/۶	۹۸/۷
دمای روزانه (°C)	۱۲/۴	۱۷/۸	۲۴/۶	۲۶/۸	۲۶/۶	۲۳/۹	۲۱/۲	۱۵/۶	۱۱/۴	۱۰/۶	۸/۹	۱۰/۰
رطوبت نسبی (٪)	۹۱	۸۲	۷۴	۷۷	۷۵	۸۱	۸۴	۸۲	۸۳	۸۳	۷۶	۸۶

محلول‌پاشی برگی تیمارهای تغذیه‌ای در پایان ریزش جودرو توسط نیترات‌پتاسیم (KNO_3) ۱/۰ درصد، نیترات‌کلسیم [$Ca(NO_3)_2$] ۱/۰ درصد و بوریک‌اسید (H_3BO_3) ۰/۵ درصد انجام شد. این تیمارها با دو گروه از درختان شاهد موردمقایسه قرار گرفت. گروه اول درختان شاهد شامل درختانی بودند که هیچ‌گونه محلول‌پاشی روی آن‌ها صورت نگرفت که به‌صورت شاهد ۱ مشخص شد. گروه دوم درختان شاهد شامل درختانی بود که فقط آب‌پاشی شده بودند و به‌صورت شاهد ۲ مشخص شدند. اندازه قطر میوه‌ها در زمان اعمال تیمارها حدود دو سانتی‌متر بود. در این آزمایش، هر تیمار شامل سه تکرار و هر تکرار شامل سه درخت (واحد آزمایشی) بود که در مجموع ۴۵ درخت موردارزیابی قرار گرفت.

در زمان برداشت، میوه‌های نارنگی پیچ برداشت‌شده (۱۰ عدد نمونه از هر درخت) و موردارزیابی قرار گرفتند. شاخص برداشت براساس نسبت قند به اسید (TSS/TA) عصاره تعیین شد، بدین صورت که زمانی که این نسبت به حدود ۷ رسید، میوه‌ها برداشت شدند. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل درصد میوه‌های ترک‌خورده، عملکرد درخت، وزن میوه، ضخامت پوست گلگاه، درصد عصاره، محتوای مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون و نسبت مواد جامد محلول کل به اسیدیته قابل تیتراسیون (شاخص بلوغ) بود. در این پژوهش هم‌چنین اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز حاضر در بافت میوه در زمان اوج ترکیدگی بررسی شد.

به‌منظور تعیین تراکم سلولی در ناحیه گلگاه پوست میوه‌های درختان آزمایشی، در زمان یک ماه قبل از آغاز ترکیدگی، از هر درخت تعداد ۲۰ میوه به‌صورت تصادفی چیده شد و با استفاده از میکروسکوپ نوری (مدل Nikon، ژاپن) و لام‌های مدرج نسبت به شمارش تعداد سلول‌های موجود در سطح یک میلی‌مترمربع از پوست اقدام شد. تعیین قطر ناف میوه‌ها در پایان مرحله دوم رشد (آغاز رنگ‌گرفتن میوه) با استفاده از کولیس دیجیتال و نمونه‌گیری غیرمخرب از میوه‌های درختان آزمایشی انجام گرفت. برای اندازه‌گیری شدت ترکیدگی قبل از برداشت، از نیمه تیرماه یعنی حدود بیش از یک ماه قبل از آغاز ترکیدگی، پایش میوه‌ها آغاز شد تا زمان دقیق شروع این نابسامانی معلوم شود. از زمان شروع ترکیدگی تا زمان برداشت محصول، عملیات روزانه شمارش و حذف میوه‌های ترک‌خورده برای هر درخت انجام شد. به این ترتیب، معلوم شد که در هر درخت، چه تعداد از میوه‌ها دچار ترک‌خوردگی شده‌اند. برای معلوم‌شدن این مطلب که چند درصد از کل میوه‌های تشکیل شده در هر درخت ترک خورده‌اند، مجموع میوه‌های ترک‌خورده هر درخت در طول فصل رشد با تعداد میوه‌های چیده‌شده از همان درخت در زمان برداشت جمع شد تا تعداد کل میوه‌های تشکیل‌شده درخت در ابتدای بهار معلوم شود. در مرحله بعد، تعداد میوه‌های ترک‌خورده

هر درخت بر تعداد کل میوه‌های تولیدی آن در ابتدای بهار تقسیم و حاصل در عدد ۱۰۰ ضرب شد و به این ترتیب، درصد ترکیدگی برای هر واحد آزمایشی تعیین شد.

ضخامت پوست ناحیه گلگاه میوه‌های برداشت‌شده از چهار طرف تاج هر درخت توسط کولیس دیجیتال (مدل Guanglu، تایوان) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. عملکرد هر درخت نیز توسط توزین میوه‌های برداشت‌شده به‌وسیله باسکول اندازه‌گیری شد. متوسط وزن کل و متوسط وزن عصاره هر یک از میوه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل Sartorius, GM-6101، آلمان) با دقت ۰/۰۱ گرم موردارزیابی قرار گرفت.

درصد مواد جامد محلول عصاره توسط دستگاه رفراکتومتر چشمی (مدل Atago-ATC-20 E، ژاپن) اندازه‌گیری شد. غلظت اسیدهای قابل تیتراسیون عصاره با روش تیتراسیون انجام شد. در این روش ابتدا عصاره‌گیری میوه‌ها با دستگاه آب‌میوه‌گیری انجام شد و مقدار پنج میلی‌لیتر عصاره با ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر و دو قطره معرف فنل‌فتالئین مخلوط شد. در مرحله بعد، عمل تیتراسیون توسط بورت دیجیتال (مدل BRAND، آلمان) و محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال با پی‌اچ ۸/۲ تا ظهور رنگ صورتی روشن تیتر شد. برای محاسبه اسیدیته قابل تیتراسیون، حجم سود مصرفی برحسب اسید غالب (سیتریک‌اسید) استفاده شد (Shiri *et al*., 2011).

برای تعیین فعالیت پلی‌گالاکتوروناز، نمونه‌گیری در زمان اوج ترکیدگی میوه‌ها (هفته سوم شهریورماه) صورت گرفت. اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم با شیوه طیف‌سنجی نوری و به‌کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Shimadzu, UV-1800، ژاپن) با استفاده از دو بافر بورات و استات و هم‌چنین محلوهای استاندارد دی‌گالاکتورونیک اسید در طول موج ۲۷۵ نانومتر انجام گرفت. در نهایت، مقدار آنزیم با توجه به رابطه $Activity = q / (t \times c \times F)$ و نتایج منحنی استاندارد تعیین شد. در این رابطه q کمیت گالاکتورونیک اسید (میکروگرم بر میلی‌لیتر)؛ t زمان (دقیقه)؛ c غلظت محلول آنزیمی (گرم بر لیتر) و F عامل تصحیح حجم است که برابر با عدد ثابت ۲ درنظر گرفته شده است (Zhang *et al*., 1999).

آزمایش حاضر به‌صورت تجزیه مرکب در زمان شامل دو فاکتور سال‌های انجام آزمایش و تیمارهای مختلف محلول‌پاشی عناصر غذایی بود که در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آنالیز آماری آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (Version 9.1 2002–2003, SAS Institute, Cary, NC) صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون قوانین آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. لازم به ذکر است که قبل از آنالیز آماری، داده‌ها از لحاظ نرمال‌بودن موردبررسی قرار گرفتند. با توجه به معنی‌دارشدن اثر سال بر صفات اندازه‌گیری‌شده، در مقایسه میانگین‌ها برش‌دهی (Slicing) براساس سال انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. ترکیدگی میوه

براساس جدول (۴) مشخص شد که اثرات ساده سال و محلول‌پاشی برگی و هم‌چنین اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر نابسامانی ترک‌خوردگی میوه اثر معنی‌داری داشت. مقایسه میانگین درصد ترکیدگی قبل از برداشت میوه‌ها در سال اول (۱۳۹۷) نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین شدت ترکیدگی به‌ترتیب مربوط به درختان شاهد (۱۶/۲۴ و ۱۶/۱۲ درصد) و درختان محلول‌پاشی‌شده با نیترات‌پتاسیم یک درصد و نیترات‌کلسیم یک درصد بود (جدول ۵). در این میان تیمار بوریک‌اسید نیم درصد با ایندو گروه اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در سال دوم آزمایش (۱۳۹۸) نیز مشخص شد که تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد در مقایسه با تیمارهای شاهد از درصد ترکیدگی کم‌تری برخوردار بودند.

هم‌راستا با نتایج بررسی حاضر، در پژوهش دیگری با پرتقال رقم واشنگتن‌ناول معلوم شد که محلول‌پاشی تاج در یک نوبت (اواخر اردیبهشت‌ماه) و یا دو نوبت (اواخر اردیبهشت‌ماه و اواخر خردادماه) با ترکیبی از پتاسیم (۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، کلسیم (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و منیزیم (۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) موجب کاهش شدت ترکیدگی در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی تاج) شده است (El-Tanany *et al*., 2011).

جدول ٤. تجزیه واریانس اثرات تیمارهای محلول‌پاشی برگی با نیترات‌پتاسیم ۱/۰ درصد، نیترات‌کلسیم ۱/۰ درصد و بوریک‌اسید ۰/۵ درصد بر برخی صفات میوه نارنگی 'پیج' در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

	شدت ترکیدگی	PG	عملکرد	وزن میوه	ضخامت پوست	محتوای عصاره
تکرار (داخل سال)	۰/۰۰۵۶**	۳/۹۲ ns	۰/۵۶۷**	۰/۷۸**	۰/۰۳**	۰/۰۸۱**
سال	۱۲۸/۸۷**	۱۴/۵۵ ns	۲۵۵۲۴/۰۶**	۲۹/۰۱۱**	۱/۳۶**	۶۸/۱۹**
تیمار	۱۳/۹۲**	۱۵/۰۱ ns	۸۶۵/۹۹**	۵۰/۷۷**	۰/۶۹**	۶۹/۴۱**
سال × تیمار	۰/۸۲۳**	۱۰/۹۳ ns	۱۸/۲۶۵**	۱۲/۵۵**	۰/۲۸۶**	۸/۲۸**
خطای آزمایشی	۰/۰۰۰۰۰۹	۱۹/۷۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات	۵/۷۴	۳/۰۶	۹/۳۴	۶/۰۵	۵/۹۷	۸/۷۰

** و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

ادامه جدول ٤. تجزیه واریانس اثرات تیمارهای محلول‌پاشی برگی با نیترات‌پتاسیم ۱/۰ درصد، نیترات‌کلسیم ۱/۰ درصد و بوریک‌اسید ۰/۵ درصد بر برخی صفات میوه نارنگی 'پیج' در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

	TSS	TA	TSS/TA	تراکم سلولی گلگاه	قطر ناف
تکرار (داخل سال)	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۰۰۴**	۰/۰۱۶**	۰/۰۱ ns	۰/۲ ns
سال	۳/۹۵	۰/۰۰۰۳**	۰/۱۷**	۰/۶۹ ns	۲/۰۸ ns
تیمار	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱**	۰/۱۵**	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۰۷ ns
سال × تیمار	۰/۰۵۷	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۴ ns	۰/۱۳ ns
خطای آزمایشی	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۵	۰/۱۲	۱/۵۳
ضریب تغییرات	۱۱/۰۸	۱۰/۵۸	۱۲/۱۷	۵/۰۷	۸/۴۸

** و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات تیمارهای محلول‌پاشی برگی با نیترات‌پتاسیم ۱/۰ درصد، نیترات‌کلسیم ۱/۰ درصد و بوریک‌اسید ۰/۵ درصد بر برخی صفات میوه نارنگی 'پیج' در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

سال	تیمار	شدت ترکیدگی (%)	PG ($U\ mg^{-1}$)	عملکرد ($kg\ tree^{-1}$)	وزن میوه (g)	ضخامت پوست (mm)
	شاهد ۱	۱۶/۲۴a	۱۲۱/۶۶a	۱۳۰/۷۳c	۱۲۶/۴۵c	۲/۳۳c
۱۳۹۷	شاهد ۲	۱۶/۱۲a	۱۲۲/۱۸a	۱۳۶/۶۵c	۱۲۶/۰۹c	۲/۳۵c
	نیترات‌پتاسیم	۱۴/۲۰b	۱۲۱/۷۵a	۱۶۰/۰۳a	۱۲۹/۴۷a	۳/۲۴a
	نیترات‌کلسیم	۱۴/۳۷b	۱۲۱/۹۶a	۱۴۴/۷۶b	۱۲۷/۵۷b	۳/۱۸a
	بوریک‌اسید	۱۵/۴۹ab	۱۲۰/۱۲a	۱۴۵/۶۳b	۱۲۷/۸۹b	۲/۶۹b
	شاهد ۱	۱۲/۳۹a	۱۱۸/۹۳a	۹۸/۷۳d	۱۱۰/۳۸b	۲/۴۶b
۱۳۹۸	شاهد ۲	۱۲/۳۵a	۱۱۹/۳۶a	۹۷/۴۲d	۱۲۲/۷۰b	۲/۴۰b
	نیترات‌پتاسیم	۱۱/۲۷b	۱۱۹/۰۵a	۱۱۹/۹۶a	۱۳۰/۰۶a	۳/۳۸a
	نیترات‌کلسیم	۱۱/۳۱b	۱۱۸/۸۳a	۱۰۶/۰۵c	۱۲۸/۵۲a	۲/۴۸b
	بوریک‌اسید	۱۱/۴۱b	۱۱۹/۲۵a	۱۱۰/۷۲b	۱۲۹/۵۶a	۲/۵۰b

برای هر صفت و برای هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشابه، از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

ادامه جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات تیمارهای محلول‌پاشی برگی با نیترات‌پتاسیم ۱/۰ درصد، نیترات‌کلسیم ۱/۰ درصد و بوریک‌اسید ۰/۵ درصد بر برخی صفات میوه نارنگی 'پیج' در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

سال	تیمار	محتوای عصاره (%)	TSS (°Brix)	TA (%)	TSS/TA	تراکم سلولی گلگاه	قطر ناف
	شاهد ۱	۳۴/۶۶b	۱۲/۵۷a	۰/۶۴a	۱۹/۶۴a	۱۴۸۳۱a	۴/۰۲a
۱۳۹۷	شاهد ۲	۳۵/۸۳b	۱۲/۵۴a	۰/۶۳a	۱۹/۹۰a	۱۵۱۹۲a	۳/۸۵a
	نیترات‌پتاسیم	۳۹/۹۱a	۱۲/۶۳a	۰/۶۳a	۲۰/۰۴a	۱۵۰۱۲a	۳/۷۳a
	نیترات‌کلسیم	۳۹/۸۴a	۱۲/۵۰a	۰/۶۴a	۱۹/۵۳a	۱۴۷۳۲a	۳/۹۸a
	بوریک‌اسید	۳۸/۴۴a	۱۲/۴۷a	۰/۶۳a	۱۹/۸۰a	۱۴۸۹۲a	۳/۶۷a
۱۳۹۸	شاهد ۱	۳۶/۴۸b	۱۳/۱۹b	۰/۶۵c	۲۰/۲۹a	۱۳۹۸۸a	۳/۸۸a
	شاهد ۲	۳۴/۶۴b	۱۳/۲۲b	۰/۶۵c	۲۰/۳۴a	۱۳۹۱۴a	۳/۶۷a
	نیترات‌پتاسیم	۴۵/۸۶a	۱۳/۴۹a	۰/۷۰a	۱۹/۲۷b	۱۴۱۱۱a	۴/۰۱a
	نیترات‌کلسیم	۴۳/۳۰a	۱۳/۲۱b	۰/۶۶bc	۲۰/۰۲a	۱۴۱۰۳a	۳/۹۲a
	بوریک‌اسید	۳۵/۹۷b	۱۳/۴۳a	۰/۶۸ab	۱۹/۷۵ab	۱۳۹۸۲a	۳/۷۶a

برای هر صفت و برای هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشابه، از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج پژوهش‌های Abd El-Rahman *et al*. (2012) نیز ثابت کرده است که تأثیر تیمار نیترات‌پتاسیم یک درصد در کاهش ترکیدگی میوه‌های پرتقال واشنگتن‌ناول در زمانی که میوه‌ها به قطر تقریبی دو سانتی‌متر رسیده باشند بهتر از حالتی است که این تیمار در مرحله تمام‌گل اعمال شده باشد. این زمان در پژوهش حاضر نیز رعایت شده و زمان درست اجرای تیمارهای تغذیه‌ای می‌تواند تا حدودی در نتایج مثبت به‌دست‌آمده در کنترل ترک‌خوردگی میوه‌ها مؤثر باشد.

دلیل مثبت‌بودن تأثیر تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد در کاهش ترکیدگی را که در پژوهش حاضر نشان داده شد، می‌تواند ناشی از آن دانست که این نابسامانی فیزیولوژی حاصل فشاری است که در مرحله آب‌گیری (مرحله دوم رشد میوه‌ها) از طرف گوشت بر پوست آن وارد شده و لذا ویژگی‌های فیزیکی و هم‌چنین درجه استحکام مکانیکی پوست میوه‌ها که متأثر از غلظت عناصر کلیدی شامل کلسیم، پتاسیم و بور باشد، در بروز آن نقش مهمی دارد (El-Tanany *et al*., 2011; Li & Jiezhong, 2017). به این ترتیب، اثر مثبت تیمار پتاسیم یک درصد می‌تواند مطابق با آنچه که در نتایج پژوهش‌های انجام‌شده با ارقام واشنگتن‌ناول (Abd El-Rahman *et al*., 2012) و والنسیا (Cronjé *et al*., 2014) آمده است، ناشی از نقش پتاسیم در تحریک رشد و توسعه سلول‌های پوست میوه و افزایش ضخامت پوست میوه‌ها باشد. از بررسی این گزارش‌ها معلوم می‌شود که تغذیه تکمیلی درختان مرکبات با نمک‌های پتاسیمی در هر دو حالت اضافه‌کردن به خاک یا محلول‌پاشی تاج ضمن افزایش محتوای پتاسیمی برگ‌ها موجب تشکیل میوه‌هایی با پوست ضخیم‌تر شده و شدت ترکیدگی را کاهش داده است.

در توضیح اثر مثبت تیمار نیترات‌کلسیم یک درصد در کاهش ترکیدگی می‌توان به نقش این عنصر در تشکیل و استحکام‌بخشی دیواره سلولی بافت پوست میوه، اثر تنظیم‌کنندگی آن بر فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره‌های سلولی و هم‌چنین به پیوند آن با پکتین دیواره سولی که باعث به تولید پلیمرهای مقاوم در برابر آنزیم‌های تجزیه‌کننده پکتین و در نهایت، افزایش تحمل پوست در برابر فشارهای داخلی حاصل از رشد گوشت می‌شود اشاره کرد (El-Tanany *et al*., 2011; Cronjé *et al*., 2014; Li & Jiezhong, 2017). گزارش‌های موجود نشان می‌دهند که در شرایط کمبود کلسیم، ترک‌ها و حفراتی در دیواره سلولی ایجاد شده و نشت یون‌های نمکی به بیرون از سلول اتفاق می‌افتد. کلسیم هم‌چنین به جذب عناصری مانند فسفر، منگنز، آهن، روی و بور کمک کرده و همین موضوع می‌تواند سبب کاهش عوارض فیزیولوژی از جمله ترکیدگی شود (El-Tanany *et al*., 2011). ازآنجایی‌که انتقال کلسیم به نقاط رشدی و از

جمله میوه‌ها بسیار بطئی و متأثر از تبخیر و تعرق گیاه است، به برگ‌پاشی این عنصر به‌عنوان راه‌کاری مناسب برای دستیابی به اثرات مثبت کلسیم در کاهش شدت ترکیدگی اشاره شده است (Cronjé *et al*., 2014). بررسی‌های انجام‌شده با محصول انار نشان داده است که تیمار محلول‌پاشی برگی کلریدکلسیم موجب افزایش سفتی بافت میوه در میوه‌های انباری در مقایسه با شاهد شده است (Ramezanian *et al*., 2010). براساس نتایج پژوهش‌های به‌دست‌آمده، بخش اعظم کلسیم نفوذیافته به درون بافت میوه در تیغه میانی متمرکز شده و برقراری پیوند بین کلسیم با اجزای دیواره سلولی و تیغه میانی می‌تواند سازوکار مؤثری برای افزایش سفتی بافت میوه و عمر انباری بالاتر در میوه‌های تیمارشده با محلول‌های کلسیمی باشد. از سوی دیگر، ارتباط متقابل معنی‌داری بین پکتین‌های دیواره سلولی و یون‌های کلسیمی کشف شده است. یون‌های کلسیم می‌توانند با پیوندی که با پکتین‌های دیواره سلولی ایجاد می‌کنند باعث افزایش استحکام ساختاری دیواره سلولی شوند. به این ترتیب تیمار کلسیم، سفتی بافت میوه را بیش‌تر می‌کند (Ramezanian *et al*., 2010).

از بررسی منابع موجود می‌توان اثر معنی‌دار محلول‌پاشی بوریک‌اسید نیم درصد را در کاهش شدت ترکیدگی میوه‌ها حاصل از نقش عنصر بور در ساخته‌شدن دیواره سلول‌های میوه، برقراری پیوند با اجزای تشکیل‌دهنده این دیواره که باعث حفظ یکپارچگی آن می‌شود و هم‌چنین بالابردن انعطاف‌پذیری پوست میوه‌ها دانست (Li & Jiezhong, 2017). پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که اگرچه ترکیدگی قبل از برداشت مرکبات در زمین‌هایی که کمبود بور دارند بالاست (Li & Jiezhong, 2017)، اما عرضه خاکی این عنصر تأثیر زیادی بر کاهش ترکیدگی مرکبات نداشته و تنها محلول‌پاشی ترکیبات حاوی این عنصر در زمان گل‌دهی و اوایل نمو میوه نقشی مؤثر بر کاهش ترک‌خوردگی داشته است. نتایج فوق به‌خوبی با این موضوع که لازمه استحکام فیزیکی و تأمین ضخامت مناسب پوست میوه مرکبات حضور غلظت بهینه‌ای از عناصر کلیدی شامل پتاسیم، کلسیم و بور در محیط رشد ریشه‌هاست، انطباق دارد.

مقایسه میانگین‌های دو ساله نشان داد که شدت ترکیدگی درختان آزمایشی در سال اول برابر ۱۵/۲۹ درصد بوده و تفاوت معنی‌داری را بر سال دوم (۱۱/۷۶ درصد) نشان داده است. این موضوع به‌خوبی با بیش‌تربودن عملکرد متوسط درختان در سال اول نسبت به سال دوم و هم‌چنین شدیدتربودن تنش رطوبتی واردشده به میوه‌ها در اواخر بهار و اوایل تابستان (جدول ۲) قابل توضیح است. به عبارت دیگر، باردهی بیش‌تر درختان در سال اول باعث شده تا سهم هر یک از میوه‌ها به‌عنوان مراکز مصرف مواد حیاتی درخت از این ترکیبات کم‌تر شده و رشد و توسعه پوست به‌خوبی سال دوم انجام نگیرد. از طرف دیگر، کاهش شدید بارش‌ها در اواخر تابستان و شدت‌گرفتن یک‌باره بارش‌ها بعد از تنش خشکی واردشده به درختان در سال اول عامل دیگری برای افزایش بیش‌تر شدت ترک‌خوردگی میوه‌ها در سال اول در مقایسه با سال دوم بود.

۳. ۲. فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز

هیچ‌کدام از اثرات ساده و هم‌چنین اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی برگی بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز در بافت میوه در زمان اوج ترکیدگی میوه‌ها معنی‌دار نبود (جدول‌های ۴ و ۵). ثابت شده است که ترکیدگی قبل از برداشت میوه مرکبات فرایندی وابسته به ویژگی‌های نموی میوه بوده و لذا رابطه نزدیکی بین الگوی طبیعی رشدونمو سلول‌های میوه و احتمال بروز ترکیدگی آن‌ها وجود دارد (Cronjé *et al*., 2014). به‌عبارت دیگر، ترک‌خوردن میوه مرکبات اگرچه تحت تأثیر عوامل تعیین‌کننده ساختار سلولی و استحکام بافت پوست میوه قرار دارد، اما می‌تواند متأثر از فعالیت آنزیم‌هایی مانند پلی‌گالاکتوروناز که در تجزیه دیواره سلولی نقش دارند نیز باشد (Li & Jiezhong, 2017). یافته‌های پژوهش حاضر به‌خوبی نشان داد که شدت فعالیت این آنزیم که تجزیه‌کننده دیواره سلولی محسوب شده و افزایش

فعالیت آن می‌تواند زمینه‌ساز ترکیدگی قبل از برداشت باشد، تحت تأثیر تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد قرار نگرفته است. به‌عبارت دیگر، نقشی که تیمارهای تغذیه‌ای در کاهش درصد میوه‌های ترک‌خورده داشته‌اند تنها می‌تواند با تأثیر آن‌ها بر افزایش استحکام بافت پوست میوه تفسیر شود.

۳. ۳. عملکرد

عملکرد درخت نارنگی 'پیج' به‌طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده و اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی برگی قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو سال، عملکرد درختان شاهد پایین‌تر از سایرین بوده و به‌عبارت دیگر، همه تیمارها باعث افزایش معنی‌دار مقدار میوه تولیدی شدند (جدول ۵). در بین تیمارها، محلوپاشی نیترات‌پتاسیم یک درصد در هر دو سال به‌ترتیب با ۱۶۰/۰۳ و ۱۱۹/۹۶ کیلوگرم در هر درخت بیش‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داد.

نتایج به‌دست‌آمده از نظر مقدار عملکرد در هر دو سال اجرای این پژوهش به‌ویژه در مورد نیترات‌پتاسیم یک درصد با پژوهش‌های پیشین مطابقت بسیار خوبی دارد و می‌تواند نقش کلیدی عناصر به‌کاررفته به‌ویژه پتاسیم را در افزایش عملکرد نشان دهد. در پژوهش انجام‌گرفته با درختان پرتقال رقم واشنگتن‌ناول معلوم شد که اثر افزایشی تیمار محلول‌پاشی برگی نیترات‌پتاسیم در عملکرد با افزایش غلظت این ترکیب از ۲ به ۶ درصد بیش‌تر شده است (Abd El-Rahman *et al*., 2012). نتایج یک پژوهش دیگر نیز نشان داد که تیمارهای ترکیبی از سه عنصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم در درختان پرتقال رقم واشنگتن‌ناول اثر معنی‌داری بر افزایش محصول تولیدی داشته است (El-Tanany *et al*., 2011).

۳. ۴. وزن میوه

نتایج نشان داد که اثرات ساده و اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی برگی در سطح احتمال یک درصد بر وزن میوه معنی‌دار بود (جدول ۴). تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد به‌طور معنی‌داری توانست وزن میوه نارنگی 'پیج' را در مقایسه با دو تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۵). افزایش وزن میوه‌ها می‌تواند با نقش‌های سه عنصر برگ‌پاشی‌شده در تقسیم سلولی، توسعه دیواره‌های سلولی و هم‌چنین در افزایش محتوای پکتات موجود در بافت میوه توضیح داده شود (Khalaj *et al*., 2015). کلسیم با اثرات مثبتی که در فرایندهای تقسیم و رشد سلولی دارد (El-Tanany *et al*., 2011; Cronjé *et al*., 2014; Li & Jiezhong, 2017) و نقشی که پتاسیم در رشد و تقسیم سلول‌های گوشت و پوست بازی کرده و می‌تواند با کمک به حفظ آماس سلولی و تنظیم فشار اسمزی موجب افزایش سرعت رشد میوه‌ها شود و هم‌چنین عنصر بور با اثری که در افزایش سرعت تقسیمات سلولی بازی می‌کند (Barker & Pilbeam, 2015) توانسته‌اند در مقایسه با درختان شاهد موجب افزایش رشد میوه‌ها و تولید میوه‌هایی سنگین‌تر شوند.

۳. ۵. ضخامت پوست میوه

ضخامت پوست میوه نارنگی 'پیج' به‌طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده و اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی برگی قرار گرفت (جدول ۴). در سال اول تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد در مقایسه با تیمارهای شاهد توانستند ضخامت پوست را افزایش دهند. در این میان، تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد و نیترات‌کلسیم یک درصد به‌ترتیب با ۳/۲۴ و ۳/۱۸ میلی‌متر بیش‌ترین ضخامت

پوست را در بین تیمارها به خود اختصاص داده بودند و سپس تیمار بوریک‌اسید نیم درصد (۲/۶۹ میلی‌متر) قرار داشت (جدول ۵). در سال دوم، فقط تیمار نیترات‌پتاسیم با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد و باعث افزایش ضخامت پوست میوه شده بود.

در بین عناصر معدنی، کلسیم، پتاسیم و بور در گروه عناصر کلیدی مؤثر بر ضخامت و مقاومت فیزیکی پوست میوه بوده و اثر مهمی در تعیین حساسیت ترکیدگی قبل از برداشت دارند. بالابودن غلظت پتاسیم موجب تولید میوه‌هایی با پوست ضخیم و صاف شده و کمبود آن باعث تولید میوه‌هایی با پوست نازک و نرم می‌شود که احتمال ترکیدگی بیش‌تری خواهند داشت (Barker & Pilbeam, 2015; Li & Jiezhong, 2017). بررسی انجام‌گرفته توسط Li & Jiezhon (2017) نشان داد که تغذیه پتاسیمی مرکبات در مراحل ابتدایی رشد میوه‌ها با کمک به نمو پوست میوه موجب افزایش ضخامت و استحکام فیزیکی پوست شده و درصد ترکیدگی میوه‌ها را کاهش داده است. این در حالی است که در مورد تأثیر بور در ضخامت پوست میوه مرکبات گزارش‌های ضد و نقیضی وجود دارد (Li & Jiezhong, 2017). در شرایط کمبود کلسیم، نمو تیغه میانی و دیواره سلولی در پوست میوه‌ها وضعیت مطلوبی نداشته و باعث به افزایش ضخامت و کاهش انعطاف‌پذیری پوست می‌شود که زمینه‌ساز ترکیدگی خواهد بود (El-Tanany *et al*., 2011; Cronjé *et al*., 2014).

۳. ۶. محتوای عصاره

جدول (۴) نشان می‌دهد که اثرات ساده و اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی برگی در سطح احتمال یک درصد بر محتوای عصاره معنی‌دار بود. در سال اول تمامی تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد و در سال دوم فقط تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد و نیترات‌کلسیم یک درصد در مقایسه با تیمارهای شاهد باعث افزایش محتوای عصاره شدند (جدول ۵). بررسی کارهای پیشین نشان می‌دهد که در پرتقال رقم واشنگتن‌ناول، محلول‌پاشی تاج با ترکیبی از محلول‌های کودی حاوی پتاسیم، کلسیم و منیزیم موجب افزایش درصد عصاره میوه‌ها در مقایسه با شاهد شده بود (El-Tanany *et al*., 2011). گزارشی که توسط Yfran *et al*. (2017) با نارنگی رقم نوآ انجام شد نشان داد که برگ‌پاشی این درختان با سه عنصر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سه زمان قبل از گل‌دهی، هنگام ریزش ۹۰ درصد گلبرگ‌ها و ۴۰ روز بعد از تاریخ دوم موجب افزایش معنی‌دار محتوای عصاره میوه‌ها در مقایسه با شاهد شد که با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد.

۳. ۷. مواد جامد محلول کل (TSS)[1]

میزان TSS میوه نارنگی 'پیج' به‌طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده و اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که در سال اول میزان TSS میوه برای تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد یکسان بود و محلول‌پاشی با عناصر معدنی نتوانست موجب تغییر معنی‌داری از این نظر نسبت به درختان شاهد شود (جدول ۵). در سال دوم فقط تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد اثر معنی‌داری بر میزان TSS میوه داشته و باعث افزایش میزان آن در مقایسه با سایر تیمارها شدند. در میوه‌های فرازگرا، افزایش TSS میوه‌ها ناشی از تبدیل نشاسته به قندهای محلول است اما در مورد مرکبات، هیدرولیز نشاسته نمی‌تواند دلیل افزایش TSS عصاره باشد، بلکه تجزیه دیواره‌های سلولی در دوره

1. Total soluble solids

انبارداری را باید عامل اصلی افزایش شیرینی عصاره دانست (Kundu *et al*., 2020). از جمله دلایل اثر افزایشی محلول‌پاشی درختان با عناصر غذایی در محتوای قند میوه‌ها می‌تواند اثر مثبت این ترکیبات معدنی بر افزایش فعالیت فتوسنتزی، انتقال قندها از منابع تولید به مراکز مصرف و تبدیل کمپلکس‌های کربوهیدراتی (پلی‌ساکاریدها) به قندهای ساده (گلوکز و فروکتوز) در بافت میوه‌ها باشد (Muradi & Godara, 2020). این در حالی است که در گزارش Yfran *et al*. (2017) نیز هیچ کدام از سه ترکیب معدنی پتاسیم، کلسیم و بور نتوانست بر غلظت TSS میوه‌های نارنگی رقم نوآ اثر معنی‌داری داشته باشند.

۳. ۸. اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)[1]

مطابق جدول (۴)، اثرات ساده و اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی برگی بر میزان TA میوه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. وضعیت کلی درختان آزمایشی از نظر TA میوه‌ها در دو سال اجرای این پژوهش شباهت زیادی به نتایج مربوط TSS میوه‌ها داشت و اثرگذاری تیمارها بر غلظت TA فقط در سال دوم معنی‌دار شد (جدول ۵). بر این اساس، تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد در سال اول اثر معنی‌داری بر میزان TA میوه‌ها نداشتند، درحالی‌که در سال دوم تیمارهای نیترات‌پتاسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد به‌طور معنی‌داری باعث افزایش میزان TA میوه‌ها شدند (جدول ۵).

نتایج سال اول با یافته‌های Yfran *et al*. (2017) مطابقت دارد که نشان داده‌اند محلول‌پاشی برگی با نمک‌های پتاسیم، کلسیم و بور در نارنگی رقم نوآ فاقد هرگونه تأثیر معنی‌دار بر سطح اسیدهای میوه بود. معنی‌داربودن اثر نیترات‌پتاسیم و بوریک‌اسید بر میزان TA میوه‌ها را می‌توان به اثرات مثبت این ترکیبات معدنی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های سنتزکننده اسیدهای آلی مرتبط دانست (Barker & Pilbeam, 2015).

۳. ۹. TSS/TA

الگوی مشابهی در تغییرات میزان نسبت TSS/TA (شاخص بلوغ) میوه نارنگی 'پیج' در مقایسه با تغییرات TSS و TA مشاهده شد (جدول ۴). بر این اساس، در سال اول آزمایش هیچ تیماری بر TSS/TA میوه اثر معنی‌داری نداشت، اما در سال دوم، تیمار نیترات‌پتاسیم یک درصد به‌طور معنی‌داری توانست TSS/TA را کاهش داده و به این ترتیب بلوغ میوه را به تأخیر اندازد (جدول ۵).

۳. ۱۰. قطر ناف و تراکم سلولی پوست گلگاه

نتایج نشان داد تراکم سلولی پوست ناحیه گلگاه و هم‌چنین قطر ناف تحت تأثیر اثرات ساده و نیز اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی برگی نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد قرار نگرفتند (جدول‌های ۴ و ۵). مشخص شده است که فرایند توسعه پوست میوه مرکبات تنها محدود به اولین دوره از رشد میوه‌ها یعنی حدود یک ماه بعد از تشکیل میوه (اردیبهشت‌ماه و اوایل خردادماه) است. در این دوره، تقسیمات شدید سلولی در پوست باعث می‌شود تا پوست حدود سه‌چهارم قطر میوه را به خود اختصاص دهد. این در حالی است که در دومین مرحله رشد میوه‌ها، حجم گوشت روند افزایشی پیدا کرده و فشار قابل‌توجهی به‌دلیل همین افزایش حجم بر پوست وارد می‌آید که سبب کشیدگی و نازک‌ترشدن پوست می‌شود (Juan & Jiezhong, 2017).

1. Titratable acidity

بررسی‌های انجام‌گرفته نشان داده است که میزان تحمل پوست میوه در برابر فشارهای واردشده از طرف گوشت تا حدود زیادی تابع تعداد سلول‌های پوست در واحد سطح میوه است که هرچه بیش‌تر باشد نمو پوست تقویت شده و تحمل آن به فشارهای درونی بیش‌تر خواهد بود. بدیهی است که تقسیم سلولی در پوست میوه در همان مراحل اولیه نمو میوه‌ها متوقف می‌شود و لذا هر عاملی که باعث محدودشدن توسعه سلول‌های پوست شود موجب افزایش خسارت ترکیدگی خواهد شد. عدم وجود اختلاف معنی‌دار در تراکم سلولی پوست گل‌گاه در تیمارهای مختلف می‌تواند ناشی از این حقیقت باشد که در زمان اجرای تیمارهای شیمیایی، تقسیم سلولی در میوه‌های آزمایشی پایان یافته و میوه‌ها وارد فاز توسعه سلولی شده‌اند (Cronjé *et al*., 2014; Li & Jiezhong, 2017). نتایج به‌دست‌آمده در مورد معنی‌دارنشدن اثر تیمارها در اندازه ناف میوه‌ها را می‌توان با گزارش منتشرشده توسط Zur *et al*. (2017) که نشان داده بودند قطر خارجی ناف اثری در تعیین ترکیدگی میوه‌های مرکبات نداشته و تنها قطر داخلی ناف در آن اثرگذار است، تفسیر کرد.

۴. نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش دوساله معلوم شد که تغذیه تکمیلی درختان نارنگی رقم پیج با ترکیبات نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد در زمان پایان ریزش جودرو تأثیر معنی‌داری در بالارفتن استحکام فیزیکی و افزایش انعطاف‌پذیری پوست داشته و می‌تواند ضمن کاهش درصد میوه‌های ترک‌خورده و افزایش عملکرد درخت از میوه‌های سالم و قابل عرضه به بازار موجب بهبود صفات کمی و کیفی میوه‌ها شده و ارزش اقتصادی میوه‌های تولیدی را نیز بیش‌تر کند. به این ترتیب می‌توان براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، به باغداران کشور که به تولید این رقم اشتغال دارند، پیشنهاد کرد تا پس از پایان یافت موج ریزش جودرو میوه‌ها، درختان خود را با محلولی شامل نیترات‌پتاسیم یک درصد، نیترات‌کلسیم یک درصد و بوریک‌اسید نیم درصد محلول‌پاشی نمایند تا ضمن کاهش درصد میوه‌های ترک خورده، محصولی با بازارپسندی بیش‌تر تولید کنند.

۵. تشکر و قدردانی

از پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری به جهت در اختیار گذاشتن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع مورداستفاده

Abd El-Rahman, G. F., Hoda, M. M., & Ensherah A. H. T. (2012). Effect of GA_3 and potassium nitrate in different dates on fruit set, yield and splitting of Washington Navel orange. *Nature and Science, 10*(1), 148-157.

Alikhani, M., Babakhani, B., Golein, B., Asadi, M., & Rahdari, P. (2020). Foliar application of potassium nitrate and 2,4- dichlorophenoxyacetic acid affect some fruit splitting related characteristics and biochemical traits of mandarin cv. 'page'. *EurAsian Journal of BioSciences, 14*, 4251-4260.

Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of Plant Nutrition*. 2nd Edition Published by CRC Press. https://doi.org/10.1201/b18458

Cronjé, P. J. R., Stander, O. P. J., & Theron, K. I. (2014). Fruit splitting in citrus. *Horticultural Reviews*, *41*, 177-200. https://doi.org/10.1002/9781118707418.ch04

El-Tanany, M. M., Abdel Messih, M. N., & Shama, M. A. (2011). Effect of foliar application with potassium, calcium and magnesium on yield, fruit quality and mineral composition of Washington Navel orange trees. *Alexandria Science Exchange Journal, 32*(1), 65-75. https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2011.2144

Ghanbarpour, E., Rezaei, M., & Lawson, S. (2019). Reduction of cracking in pomegranate fruit after foliar application of humic acid, calcium-boron and kaolin during water stress. *Erwerbs-Obstbau, 61*, 29-37. https://doi.org/10.1007/s10341-018-0386-6

Hardiyanto, H., & Friyanti, D. N. (2019). Application of K, Ca, and Mg on peel thickness and fruit cracking incidence of citrus. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences, 87*, 45-56. https://doi.org/10.18551/rjoas.2019-03.07

Juan, L., & Jiezhong, C. (2017). Citrus fruit-cracking: Causes and occurrence. *Horticultural Plant Journal, 3*, 255-260. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.08.002

Khadivi-Khub, A. (2015). Physiological and genetic factors influencing fruit cracking. *Acta Physiologia Plantarum, 37*, 1718. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1718-2

Khalaj, K., Ahmadi, N., & Souri, M. K. (2015). Effect of calcium and boron foliar application on fruit quality in Asian pear cultivar 'KS10'. *Journal of Crop Production and Processing, 4*(14), 89-97. (In Persian)

Khalil, H. A., & Aly, H. S. (2013). Cracking and fruit quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by pre-harvest sprays of some growth regulators and mineral nutrients. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants, 5*, 71-76.

Kundu, D., Das, M., Mahle, R., Biswas, P., Karmakar, S., & Banerjee, R. (2020). Citrus fruits. In Galanakis, C. M. (Ed.), *Valorization of Fruit Processing By-products*. Academic Press, Elsevier Inc. (pp. 145-166). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00007-1

Lewis, D. H. (2019). Boron: The essential element for vascular plants that never was. *New Phytologist, 221*, 1685-1690. https://doi.org/10.1111/nph.15519

Li, J., & Jiezhong, C. (2017). Citrus fruit-cracking: causes and occurance. *Horticultural Plant Journal, 3*(6), 255-260 https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.08.002.

Lopez-Zaplana, A., Bárzana, G., Agudelo, A., & Carvajal, M. (2020). Foliar mineral treatments for the reduction of melon (*Cucumis melo* L.) fruit cracking. *Agronomy, 10*(11), 1815. https://doi.org/10.3390/agronomy10111815

Mokhtarzadeh, Z., & Shahsavar, A. R. (2020). Effects of gibberellic acid, potassium nitrate and calcium sulfate on pomegranate fruit splitting and fruit characteristics *Agriculturae Conspectus Scientificus, 85*(3), 237-245.

Muradi, B., & Godara, A. K. (2020). Effect of foliar fertilization of boron, zinc and iron on fruit quality and leaf nutrients content of peach cv. Shan-e-Punjab. *Current Journal of Applied Science and Technology, 39*(1), 43-51. https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i130479

Ramezanian, A., Dadgar, R., & Habibi, F. (2017). Postharvest attributes of "Washington Navel" orange as affected by preharvest foliar application of calcium chloride, potassium chloride, and salicylic acid. *International Journal of Fruit Science, 18*(1), 68-84. https://doi.org/10.1080/15538362.2017.1377669

Ramezanian, A. M., Rahemi, M., Maftoun, K., Bahman, S., Eshghi, M., Safizadeh, A., & Tavallali, V. (2010). The ameliorative effects of spermidine and calcium chloride on chilling injury in pomegranate fruits after long-term storage. *Fruits, 65*, 169-178. https://doi.org/10.1051/fruits/2010011

Sheikh, M. K., & Manjula, N. (2012). Effect of chemicals on control of fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.) var. Ganesh. In: Melgarejo P. (ed.), Valero D. (ed.). *II International Symposium on the Pomegranate*. Zaragoza: CIHEAM / Universidad Miguel Hernández. p. 133-135.

Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Fatahi Moghadam, J., & Ebrahimi, R. (2016). Efficiency of $CaCl_2$ spray at different fruit development stages on the fruit mineral nutrient accumulation in 'Hayward' kiwifruit. *Journal of Elementology, 21*(1), 195-209. https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.927

Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D., & Saadatian, M. (2011). Effect of ascorbic acid on phenolic compounds and antioxidant activity of packaged fresh cut table grape. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry, 10*, 2506-2515.

Singh, A., Shukla, A. K., & Meghwal, P. R. (2020). Fruit cracking in pomegranate: Extent, cause, and management – A review. *International Journal of Fruit Science, 20*(3), S1234-S1253, https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1784074

Wang, Y., Guo, L., Zhao, X., Zhao, Y., Hao, Z., Luo, H., & Yuan, Z. (2021). Advances in mechanisms and omics pertaining to fruit cracking in horticultural plants. *Agronomy, 11*, 1045. https://doi.org/10.3390/agronomy11061045

Winkler, A., & Knoche, M. (2019). Calcium and the physiology of sweet cherries: A review. *Scientia Horticulturae, 245*, 107-115. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.012

Yfran, M. M., Chabbal, M. D., Piccoli, A. B., Gimenez L. H., Rodriguez, V. A., & Martinez, G. C. (2017). Foliar fertilization with potassium, calcium and boron. Incidence on nutrition and quality of fruits in 'Nova' mandarin. *Cultivos Tropicales, 38*(4), 22-29.

Zekri, M., & Rouse, R. E. (2002). Citrus problems in the home landscape. University of Florida Press. https://doi.org/10.32473/edis-hs141-2002

Zhang, J., Bruton, B. D., & Biles, C. L. (1999). Purification and characterisation of a prominent polygalacturonase isozyme produced by *Phomopsis cucurbitae* in decayed muskmelon fruit. *Mycological Research, 103*(1), 21-27. https://doi.org/10.1017/S0953756298006674

Zur, N., Shlizerman, L., Ben-Ari, G. & Sadka, A. (2017). Use of magnetic resonance imaging (MRI) to study and predict fruit splitting in citrus. *The Horticulture Journal, 86*(2), 151-158. https://doi.org/10.2503/hortj.MI-147