

تأثیر محلول پاشی کلسیم و بُر روی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه سیب رقم گلاب کهنز

شهرام آزادی بوگر^۱ و علی قرقانی^{۲*}

۱ و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سابق و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی کلسیم و بُر بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه سیب رقم گلاب کهنز، آزمایشی در دو سال در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ده تیمار و چهار تکرار (در مجموع شامل چهل درخت) انجام گرفت. تیمارهای محلول پاشی شامل سه غلظت ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ درصد، کلرید کلسیم و همچنین سه غلظت یادشده در ترکیب با اسید بوریک ۰/۰۵ درصد، سه ترکیب تجاری کلبرون (کلسیم ۳۴درصد و بُر ۱درصد)، کلسیوگرین (کلسیم ۳۴درصد) و ست (کلسیم ۸درصد و بُر ۰/۵درصد) و تیمار شاهد بود. میزان ریزش میوه پیش از برداشت، برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی میوه، عنصرهای کانی پتاسیم، کلسیم و بُر و همچنین فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) سوپر اکسید دیسموتاز، اسکوربیک پراکسیداز و کاتالاز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، همه تیمارهای کلرید کلسیم به تنهایی، کلرید کلسیم در ترکیب با بُر و ترکیب‌های تجاری در مقایسه با تیمار شاهد، میزان ریزش میوه، میزان لک، میزان زنگار و همچنین رنگ میوه را کاهش و میزان سفتی، pH، ویتامین ث، محتوای کلسیم و بُر میوه و همچنین فعالیت هر سه آنزیم پاداکسندگی را افزایش داد. تیمارهای ترکیبی کلسیم و بُر نسبت به تیمارهای کلسیم به تنهایی، در بیشتر ویژگی‌ها برتر بودند و یا اختلاف معنی‌داری نداشتند. اگرچه بین غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم و همچنین بین ترکیب‌های تجاری و کلرید کلسیم در بیشتر ویژگی‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی به‌طور کلی در بین تیمارها، کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد در ترکیب با اسید بوریک ۰/۰۵ درصد بهترین تیمار بود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های پاداکسندگی، بُر، ریزش پیش از برداشت، سفتی میوه، سیب، کلرید کلسیم.

Effect of calcium and boron spray application on fruit's quantitative and qualitative characteristics of 'Golab-e Kohanz' apple

Shahram Azadi Bougar¹ and Ali Gharaghani^{2*}

1, 2. Former M.Sc. Student and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

(Received: Oct. 4, 2015 - Accepted: Jan. 12, 2016)

ABSTRACT

In order to study the foliar application effect of calcium and boron on fruit quantitative and qualitative characteristics of 'Golab-e kohanz' apple, an experiment was carried out for two years. Experiment was conducted as a randomized complete block design with 10 treatments and 4 replications (totally include 40 trees). The treatments included calcium chloride (CaCl₂) with 3 concentrations of 0.5%, 0.75% and 1%, calcium chloride with 3 mentioned concentrations + 0.05% Boric Acid, and three commercial calcium fertilizer, Calsiogreen (34% Ca), Calboron (34% Ca + 1% B) and Set (8% Ca + 0.5% B), and control. Pre-harvest fruit drop, some of fruit quantitative and qualitative traits, potassium (K), calcium (Ca) and boron (B) content, as well as some antioxidant enzymes activities including Catalase (CAT), Ascorbic peroxidase (APX), and Super oxide dismutase (SOD) were measured. Results showed that almost all of Ca treatments (single, in combination with B and even commercial Ca fertilizers) comparing to the control, decreased pre-harvest fruit drop, bruising and russetting incidence as well as fruit color but increased firmness, pH, ascorbic acid, Ca and B as well as antioxidant enzymes activities. Combined treatments of Ca and B performed better results or had no significant difference with single Ca treatments in many of evaluated fruit characteristics. However, there were no significant differences among different concentrations of Calcium chloride as well as between calcium chloride and commercial Ca fertilizers in most of the measured fruit characteristics but generally calcium chloride of 0.75% combined with 0.05% boric acid was the best treatment.

Keywords: Antioxidant enzymes, apple, boron, calcium chloride, fruit firmness, pre-harvest drop.

مقدمه

شاخص‌های استاندارد کیفیت تجاری میوه سیب بیشتر بر فراسنجه‌های قابل مشاهده مانند اندازه و رنگ سطحی تکیه دارد. این فراسنجه‌ها به تنهایی انتظارهای مصرف‌کننده را برآورده نمی‌کند و کیفیت ظاهری خوب بایستی با بافت و طعم خوب میوه هم همراه باشد (Harker *et al.*, 2008). نرم شدن ناشی از رسیدن میوه، با تجزیه تیغه میانی مرتبط بوده و این حالت با تغییر در ترکیب و ساختار و زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی دیواره یاخته‌ای همراه است. میوه‌های سفت‌تر به‌طور معمول مقاومت بیشتری در برابر آسیب‌های مکانیکی در طول حمل‌ونقل و مدت‌زمان انبار دارند و این میوه‌ها ارزش تجاری بالاتری نیز دارند (Goulao *et al.*, 2008).

کلسیم یکی از عنصرهای پرمصرف ضروری است که مهم‌ترین نقش آن، استحکام دیواره یاخته‌ای و حفظ انسجام و پایداری غشاء آن است. یون کلسیم از راه تشکیل ترکیب‌های پیچیده (کمپلکس) با دیواره یاخته‌ای و پکتین تیغه میانی و همچنین پیوند دادن فسفات‌ها و گروه‌های کربوکسیلات فسفولیپیدها و پروتئین‌های سطحی غشای یاخته‌ای در پایداری غشای یاخته‌ای، افزایش سفتی و استحکام بافت مؤثر است (Fallahi *et al.*, 1979). کلسیم به‌ویژه در سیب عنصری مهم تلقی می‌شود زیرا سیب محصولی است که به مدت طولانی در انبار نگهداری می‌شود و به دلیل اهمیت نقش کلسیم در کاهش اختلال‌های انباری، هیچ عنصری نمی‌تواند جایگزین نقش کلسیم در انبارمانی میوه سیب شود و کمبود این عنصر باعث شیوع نابسامانی‌های فیزیولوژیک مانند لکه چوب‌پنبه‌ای، آب‌گزیدگی، ازهم‌پاشیدگی درونی و به‌طور کلی نرم شدن بافت میوه می‌شود (Bennewitz *et al.*, 2011). کلسیم با کاهش تنفس، کاهش تولید اتیلن و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز از رسیدن و نرمی میوه جلوگیری می‌کند (Huber, 1984). از سوی دیگر درختان سیب در جذب کلسیم از خاک و به‌ویژه در انتقال کلسیم از ریشه به برگ‌ها کارا نیستند. کلسیم جذب‌شده به‌وسیله ریشه‌ها درون درخت بسیار کند حرکت می‌کند و بسته به اندازه درخت مدت زیادی طول می‌کشد تا کلسیم از نوک ریشه

به میوه برسد و همین مسئله باعث نرسیدن مقادیر کافی از این عنصر به میوه‌ها از راه کاربرد خاکی آن می‌شود. ضمن آنکه انتقال کلسیم از آوند چوبی به آبکش کند بوده و جذب کلسیم با جریان توده در خاک صورت می‌گیرد. از آنجایی که برگ‌ها تعرق بالاتری دارند در رقابت برای جذب کلسیم، نسبت به میوه، کارا تر هستند و میوه‌ها عارضه‌های فیزیولوژیک را بروز می‌دهند. همچنین تحریک رشد رویشی و تنش رطوبتی می‌تواند منجر به کاهش میزان کلسیم در میوه و حتی برگشت کلسیم از میوه به برگ‌ها شود؛ بنابراین در چنین شرایطی تغذیه برگ‌ها راهکاری مؤثر در تأمین عنصرهای مورد نیاز گیاه به‌ویژه میوه آن است (Swietlik & Faust, 1984).

پژوهش‌ها نشان می‌دهد، کاربرد پیش و پس از برداشت کلسیم در کند کردن فرآیند رسیدگی میوه، کاهش تنفس و افزایش سفتی میوه مؤثر است (Souty *et al.*, 1995). کاربرد کلسیم به‌صورت محلول‌پاشی در طول فصل رشد و به‌ویژه در نیمه نخست به دلیل تکامل کمتر پوستک (کوتیکول) جذب بهتری صورت می‌گیرد، باعث تأخیر در نرم شدن و افزایش عمر پس از برداشت میوه سیب شده و به‌طور کلی بر ویژگی‌های شایان‌پذیرش میوه سیب از دیدگاه مصرف‌کننده تأثیر مثبت دارد (Ortiz *et al.*, 2011). به همین دلیل محلول‌پاشی کلسیم در مناطقی از جهان برای پرهیز از کمبود موضعی کلسیم در میوه و افزایش کیفیت و انبارمانی آن متداول است (Lötze *et al.*, 2008). تغییر در کیفیت میوه به‌طور ویژه سفتی گوشت، اسیدیته و رنگ در ارتباط با غلظت کلسیم در گوشت میوه به دنبال چندین مرتبه محلول‌پاشی کلسیم است (Kadir *et al.*, 2004). کلسیم باعث افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) می‌شود. در یاخته گیاهان پراکسیداز، کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز در سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن فعال می‌شوند و افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز باعث تأخیر در پیری می‌شود (Kou *et al.*, 2014). فعالیت آنزیم پراکسیداز در دیواره یاخته‌ای و سیتوپلاسم میوه‌های محلول‌پاشی‌شده با کلرید کلسیم کاهش پیدا می‌کند. فعالیت پراکسیداز در این اندام‌ها وابسته به کلسیم است (Val *et al.*, 2008).

مختلف کلسیم و بُر بر برخی ویژگی‌های مهم کمی و کیفی میوه سیب رقم گلاب کهنژ انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

محل انجام پژوهش و طرح آزمایشی

آزمایش در یک باغ تجاری در منطقه همایجان از توابع شهرستان سپیدان استان فارس با ۲۲۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا، موقعیت ۳۰ درجه و ۲۶ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۱ درجه و ۹۸ دقیقه طول جغرافیایی انجام گرفت. این آزمایش در دو سال متوالی ۹۲-۱۳۹۱ و روی درختان ده ساله سیب رقم گلاب کهنژ پیوندشده روی پایه بذری انجام شد. درختان با فاصله‌های ۴ × ۵ کشت شده و به صورت شلجی تربیت شده بودند و باغ مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ده تیمار و در چهار تکرار انجام شد و هر واحد آزمایشی شامل یک درخت مستقل بود. تیمارهای آزمایشی در جدول ۱ آمده است. در مجموع سه بار محلول پاشی با استفاده از سم پاش پشت تراکتوری تجاری انجام شد که نخستین آن دو هفته پس از تشکیل میوه و دو بار دیگر به فاصله دو هفته از همدیگر انجام شد. ترکیب‌های تجاری بر مبنای توصیه شرکت تولیدکننده آن و به میزان ۳ در هزار برای کلبرون و کلسیوگرین و ۶ در هزار برای ست محلول پاشی شدند.

ویژگی‌های مورد ارزیابی

ریزش پیش از برداشت میوه

برای این منظور در هر درخت (واحد آزمایشی) سه شاخه در جهت‌های مختلف انتخاب و شمار میوه‌های روی آن‌ها پس از ریزش جودرو و دوباره پیش از برداشت شمارش شد و از داده‌های به دست آمده برای محاسبه درصد ریزش استفاده شد (Peng et al., 2013).

$$\% \text{ Fruit drop} = \frac{\text{تعداد میوه نهایی}}{\text{تعداد میوه اولیه}} \times 100$$

وزن تازه میوه

میانگین وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتال بر پایه اندازه‌گیری وزن ده میوه که به صورت تصادفی برداشت شده بودند محاسبه شد.

بُر یکی از عنصرهای شبه‌فلزی بوده و ویژگی‌های آن‌هم مانند فلزها و هم غیر فلزهاست. اسید بوریک شکلی از بُر است که توسط گیاهان جذب می‌شود. بُر در انتقال قندها، ساخت دیواره یاخته‌ای، لیگنینی شدن، سوخت‌وساز کربوهیدرات‌ها، سوخت‌وساز RNA، تنفس، سوخت‌وساز ایندول استیک اسید و فنل و پایداری غشاهای پلاسمایی نقش دارد به طوری که میزان شایان توجهی از بُر موجود در گیاهان در بخش پکتیکی دیواره یاخته‌ای است (Peryea, 1994). تشکیل میوه ضعیف و کاهش عملکرد، نخستین نشانه قابل مشاهده از کمبود بُر در درختان میوه است. اگر کمبود بُر در میوه سیب زود و پیش از تکامل نیمی از رشد میوه، ایجاد شود، عارضه لکه چوب‌پنبه‌ای درونی در آن ایجاد می‌شود. سطوح یادشده در مرحله اول آبی به نظر می‌رسد پس از آن سفت شده و شکاف بر می‌دارند و میوه کوچک و نامتقارن به نظر می‌رسد. به طور معمول میوه سیب دارای کمبود بُر بدشکل، چوب‌پنبه‌ای، حساس به ترکیب‌گی و زنگار و پوست رنگ پریده دارد (Wojcik et al., 2008). محلول پاشی با مخلوط کلسیم، روی و بُر و برداشت زودهنگام میوه گلابی بر کاهش عارضه قهوه‌ای شدن داخلی و افزایش عمر انباری میوه مؤثر است (Arzani et al., 2010).

گروهی از سیب‌های معطر تابستانه در کشور وجود دارند که به طور معمول از اواخر خرداد تا اواسط تابستان می‌رسند و به علت داشتن عطر خاص به سیب‌های گلاب معروف شده‌اند. این رقم‌های زودرس به صورت پراکنده در همه نقاط تولید سیب کشور یافت می‌شوند و اهمیت زیادی در تأمین میوه کشور در فصل تابستان دارند. سیب رقم گلاب کهنژ یکی از مهم‌ترین رقم‌های سیب تابستانه است که بافت نرم و آسب‌پذیری دارد و قابلیت انبارمانی و عمر قفسه‌ای کمی نیز دارد (Mostoufi et al., 2007). با توجه به نقش حفاظتی کلسیم و بُر در سلامت بافت میوه، محلول پاشی کلسیم و بُر در طول فصل رشد می‌تواند مشکلات هنگام برداشت و پس از برداشت این رقم را کاهش داده و کیفیت آن را تا هنگام رسیدن به دست مصرف‌کننده در حد شایان‌پذیرشی حفظ کند. لذا این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر محلول پاشی سطوح و همچنین منابع

جدول ۱. تیمارهای محلول پاشی

Table 1. Spray treatments

| Treatments |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1- Calcium chloride 0.5% |
| 2- Calcium chloride 0.75% |
| 3- Calcium chloride 1% |
| 4- Calcium chloride 0.5% + Boric acid 0.05% |
| 5- Calcium chloride 0.75% + Boric acid 0.05% |
| 6- Calcium chloride 1% + Boric acid 0.05% |
| 7- *Calboron (Made by Green company, Italy, content 34% calcium and 1% boron) |
| 8- *Calsiogreen (Made by Green company, Italy, content 34% calcium) |
| 9- *Set (Made by Stoller company, USA, content 8% calcium and 0.5% boron) |
| 10- control treatment (water) |

*Commercial fertilizer solutions/mixtures were sprayed based on the recommended dosage on their labels (3, 3 and 6 liter/kg per 1000 liter of water for Calboron, Calsiogreen and Set, respectively).

میزان لکه‌های روی میوه

میزان لک بر پایه شاخص لک (Bit Index) و بر پایه پنج نمره معیار قابل مشاهده تعیین شد. =۰ بدون لک =۱ از ۱ تا ۵ لکه =۲ از ۶ تا ۱۰ لکه =۳ از ۱۱ تا ۱۵ لکه =۴ از ۱۶ تا ۲۰ لکه =۵ بیشتر از ۲۰ لکه با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Pesis *et al.*, 2010).

$$\text{Biy Index} = \sum_{0}^{5} \frac{(\text{index level}) \times (\text{Number fruit at this level})}{\text{total number of fruit}}$$

زنگار روی میوه

میزان زنگار و رنگ میوه بر پایه برگه (چارت)های استاندارد به صورت کد عددی با استفاده از روش (Wojcik *et al.*, 2008) با کمی تغییر (دامنه اندازه‌گیری بر پایه ۱ تا ۵) اندازه‌گیری شد. =۱ =۰ تا ۲۰٪، =۲ =۲۰ تا ۴۰٪، =۳ =۴۰ تا ۶۰٪، =۴ =۶۰ تا ۸۰٪ و =۵ =۸۰ تا ۱۰۰٪.

Ressetting & Color Index=

$$\sum_{1}^{5} \frac{(\text{index level}) \times (\text{Number fruit at this level})}{\text{total number of fruit}}$$

میزان وزن خشک میوه

برای تعیین درصد وزن خشک (DW) از هر درخت ده میوه انتخاب و قاچ‌های مساوی از آنها برش داده شد و در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت یک هفته قرار داده شد. با توجه به وزن میوه‌ها پیش و پس از خشک شدن، درصد وزن خشک بر پایه رابطه زیر به دست آمد (Chatzissavvidis & Therios, 2010).

$$\% DW = \frac{DW}{FW} \times 100$$

میزان سفیدی میوه

برای تعیین سفیدی، پوست میوه با چاقوی تیز از دو جهت مخالف برداشته شد و آزمون سفیدی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفیدی‌سنج دستی بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در ده میوه از هر واحد آزمایشی انجام شد.

مواد جامد محلول، اسید قابل عیارسنجی و pH آب میوه مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه قندسنج مدل ATAGO ATC-1E ساخت کشور ژاپن، میزان اسید کل به روش عیارسنجی (تیتراسیون) با سود با معرف فنل فتالین (A.O.A.C. 1995) و pH آب میوه با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال اندازه‌گیری شد. **میزان ویتامین ث:** اندازه ویتامین ث به روش طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتری) انجام شد برای این منظور ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره میوه با ۱۰ میلی‌لیتر متانسفریک ۱ درصد مخلوط شده و ۱ میلی‌لیتر از محلول به دست آمده را با ۹ میلی‌لیتر ۶ و ۲ دی کلرو ایندوفنول ۵۰ میکرومولار مخلوط کرده و چند ثانیه با ورتکس تکان داده شد، سپس در طول موج ۵۱۵ توسط دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده شد و بر حسب میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم بافت میوه بیان شد (Klein & Perry, 2006).

میزان جذب کلسیم و پتاسیم میوه

برای اندازه‌گیری میزان کلسیم و پتاسیم ۱ گرم از پودر تهیه شده از ده میوه در کوره در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به خاکستر تبدیل شد و به ازای هر

اسکوربات ۰/۵ میلی‌مولار، EDTA (۰/۱ میلی‌لیتر عصارهٔ آنزیم بود. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز از روش Beauchamp & Fridovich (1971) استفاده شد) اندازه‌گیری و بر پایهٔ توانایی آنزیم SOD در متوقف کردن احیاء فتوشیمیایی نیتروبولوتترازولیوم (NBT) توسط رادیکال‌های سوپر اکسید در حضور ریپوفلاوین در نور صورت می‌گیرد. بر پایهٔ این روش ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج با ۱ میلی‌لیتر محلول اندازه‌گیری سوپر اکسید دیسموتاز که شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=۷/۸)، ۷۵ میکرومولار NBT، ۱۳ میلی‌مولار ال-متیونین، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA و ۲ میکرومولار ریپوفلاوین است، آمیخته شد و برای انجام واکنش این آمیخته پانزده دقیقه در اتاقک نور قرار داده شد. سپس محلول به دست آمده در دستگاه طیف‌سنج نوری قرار داده شد و میزان جذب آن در طول موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نسخهٔ ۹/۱ نرم‌افزار SAS انجام شد و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۱ درصد و ۵ درصد مقایسه شدند. بر پایهٔ نتایج تجزیهٔ واریانس برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، دو سال آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت که نتایج هر دو سال آن‌ها به‌طور جداگانه آورده شد و در مورد دیگر ویژگی‌های میانگین دو سال آورده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های کمی میوه

ریزش میوه

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که بین تیمار شاهد و دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان ریزش میوه وجود دارد که بیشترین میزان ریزش پیش از برداشت میوه در هر دو سال مربوط به تیمار شاهد (به ترتیب ۱۱/۰۳ و ۱۱/۰۲ درصد در سال‌های اول و دوم) و کمترین آن در سال اول مربوط به تیمار کود کلبرون (۴/۷۹ درصد) و در سال دوم در تیمار کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد (۴/۹۴ درصد) مشاهده

گرم ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۳ نرمال افزوده و با آب جوش به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد سپس میزان کلسیم توسط دستگاه جذب اتمی و پتاسیم با استفاده از شعله‌سنج اندازه‌گیری شد. تمام میزان کلسیم و پتاسیم بر پایهٔ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه گزارش شد (Codling, et al., 2007).

میزان بُر در میوه

برای اندازه‌گیری بُر از روش گرماسنجی (کالریمتری) آزومتین اچ استفاده شد (Wolf, 1974) بدین صورت که ۲ میلی‌لیتر از محلول‌های عصاره را به لوله‌های آزمایش منتقل و میزان ۴ میلی‌لیتر از محلول بافر که شامل ۱۰۰ گرم استات آمونیوم در ۱۶۰ میلی‌لیتر آب و ۵۰ میلی‌لیتر اسید استیک غلیظ و ۲/۶۸ Na₂ E.D.T.A و ۲/۴ تیوگلیکولیک اسید اضافه و به هم زده شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از معرف آزومتین را به آن افزوده و به هم زده شد و پس از سی دقیقه تا بیشینه ۱/۵ ساعت میزان جذب را با طیف‌سنج نوری (مدل Biowave II، ساخت شرکت Biochrom کشور انگلستان) در طول موج ۴۳۰ خوانده و با رسم منحنی واسنجی (کالیبراسیون) میزان بُر در نمونه‌ها محاسبه شد.

اندازهٔ فعالیت‌های پاداگسندگی

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از روش *Dhindsa et al.* (1981) استفاده شد. بر پایهٔ این روش ۵۰ میکرولیتر از عصارهٔ استخراج‌شده با ۱ میلی‌لیتر محلول اندازه‌گیری کاتالاز که شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=۷) و ۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن (H₂O₂) است آمیخته شد. سپس میزان جذب آن در طول موج ۲۴۰nm به مدت یک دقیقه با دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده شد. یک واحد آنزیمی کاتالاز برابر با تجزیهٔ ۱ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن (H₂O₂) در یک دقیقه است. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز، با ثبت کاهش در جذب عصاره در طول موج ۲۹۰ نانومتر در اثر اکسید شدن اسکوربات اندازه‌گیری شد (Nakano & Asada, 1981). ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی بافر پتاسیم (pH= ۷/۵ mM)، اسید

بیشتر به عنوان عنصرهای مؤثر در کیفیت میوه سیب شناخته شده‌اند تا عنصرهایی که در کمیت میوه تأثیر داشته باشند. Ortiz *et al.* (2011) نیز نشان دادند که محلول پاشی کلسیم تأثیر چندانی در افزایش وزن میوه سیب ندارد که نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش ارتیز و همکاران همخوانی دارد.

ویژگی‌های کیفی میوه

زنگار روی میوه

نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد، بیشترین میزان زنگار در هر دو سال در تیمار شاهد (به ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۹۸ در سال‌های اول و دوم) و کمترین آن در هر دو سال در تیمار کود کلسیوگرین مشاهده شد (به ترتیب ۱/۱۶ و ۱/۱۵ در سال‌های اول و دوم). تا حدودی همه در تیمارهای کلسیم میزان زنگار کمتر از تیمار شاهد است ولی به نظر می‌رسد به‌طور کلی تیمارهای حاوی عنصر بُر تأثیر بیشتری در کاهش شیوع زنگار داشته‌اند (جدول ۲). زنگار در یاخته‌های چوب‌پنبه‌ای در پوست سیب در واکنش به مرگ یاخته‌های روپوستی (اپیدرمی) و بافت زیرپوستی (هیپودرمال) تشکیل می‌شود. بیشترین دوره آسیب‌پذیری برای تشکیل زنگار بین هفته‌های اول تا چهارم پس از پایان گلدهی است (Creasy, 1980). کلسیم می‌تواند با توجه به نقش در دیواره پکتو یاخته‌ای باعث سفتی میوه و افزایش ضخامت پوست و پوستک در میوه در مراحل اولیه رشد میوه شود تا از میزان زنگار نیز کاسته شود. نقش عنصر بُر در کاهش عارضه‌های فیزیولوژیک میوه سیب از جمله زنگار نیز ثابت شده است (Miller, 1982).

شد (جدول ۲). ریزش همزمان با افزایش فضای بین یاخته‌ای و زوال تیغه میانی در ناحیه ریزش صورت می‌گیرد (Atkinson *et al.*, 2002). گزارش شده است علت سست بودن اتصال دیواره یاخته‌ای بین یاخته‌ها، به علت تخریب ترکیب‌های پکتینی در دیواره یاخته‌ای اولیه و تیغه میانی است. در سیب بیشترین غلظت کلسیم در میوه به‌طور معمول مدت کوتاهی پس از گلدهی است (Jones *et al.*, 1983) و کاهش غلظت کلسیم با افزایش جرم میوه و تا هنگام برداشت ادامه دارد (Knee *et al.*, 1995). به نظر می‌رسد با توجه به نقشی که کلسیم و بُر در دیواره یاخته‌ای و تیغه میانی در بافت‌های گیاهی دارند، تیمارهای کلسیم و بُر با افزایش محتوای نسبی این دو عنصر در بافت میوه بازدارنده آسیب و از بین رفتن دیواره و تیغه میانی در ناحیه ریزش شده و از این راه از ریزش میوه‌ها جلوگیری می‌شود.

وزن میوه

بیشترین میزان وزن میوه در سال اول در تیمار کود ست (۷۵/۱۵ گرم) و در سال دوم در تیمار کلرید کلسیم (۷۷/۲۵ درصد + اسید بوریک ۰/۰۵ درصد) و کمترین آن در سال اول در تیمار شاهد (۶۴/۶ گرم) و در سال دوم در تیمار کلرید کلسیم ۱ درصد (۶۸/۶ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). به‌طور کلی افزایش وزن میوه خیلی روند مشخصی نداشت و نمی‌توان در زمینه تأثیر تیمارهای کلسیم و بُر بر وزن میوه اظهار نظر قطعی کرد. ولی آنچه مشخص است سطوح پایین‌تر کلسیم به تنهایی و یا در ترکیب با بُر تأثیر بهتری در مقایسه با سطوح بالاتر کلسیم داشته است. البته این دو عنصر

جدول ۲. تأثیر تیمارهای مختلف کلسیم و بُر بر درصد ریزش پیش از برداشت، وزن میوه و زنگار میوه سیب رقم گلاب کهنر در دو سال (۱۳۹۱-۱۳۹۲)

Table 2. The effect of calcium and boron treatments on pre-harvest drop, fruit weight and fruit russeting of 'Golab-e Kohanz' Apple in two years (2012-2013).

| Treatments | pre-harvest drop (%) | | Fruit weight (g) | | Fruit russeting (index) | |
|-------------------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| | 2012 | 2013 | 2012 | 2013 | 2012 | 2013 |
| Calcium chloride 0.05% | 5.49 ^{cd} | 9.09 ^{ab} | 67.35 ^{bc} | 70.05 ^{bc} | 1.39 ^a | 1.28 ^b |
| Calcium chloride 0.75% | 6.54 ^{bcd} | 4.94 ^d | 65.4 ^c | 74.80 ^{ab} | 1.40 ^a | 1.35 |
| Calcium chloride 1% | 5.26 ^{cd} | 5.56 ^{cd} | 65.35 ^c | 68.70 ^c | 1.24 ^{ab} | 1.28 ^b |
| Calcium chloride 0.05% + Boric acid 0.05% | 6.12 ^{bcd} | 9.52 ^{ab} | 73.5 ^{ab} | 77.25 ^a | 1.26 ^{ab} | 1.45 ^b |
| Calcium chloride 0.75% + Boric acid 0.05% | 7.74 ^{bc} | 8.12 ^b | 68.4 ^{abc} | 69.70 ^{ab} | 1.27 ^{ab} | 1.18 ^{ab} |
| Calcium chloride 1% + Boric acid 0.05% | 8.15 ^b | 8.50 ^b | 67.75 ^{bc} | 68.60 ^c | 1.23 ^{ab} | 1.23 ^b |
| Calboron (34% calcium and 1% boron) | 4.79 ^d | 7.75 ^{bc} | 69.75 ^{abc} | 70.55 ^{bc} | 1.23 ^{ab} | 1.20 ^b |
| CalcioGreen (34% calcium) | 7.82 ^{bc} | 9.56 ^{ab} | 70.6 ^{abc} | 69.80 ^{bc} | 1.16 ^{ab} | 1.15 ^b |
| Set (8% calcium and 0.05% boron) | 7.46 ^{bc} | 8.27 ^b | 75.15 ^a | 69.90 ^{bc} | 1.20 ^{ab} | 1.42 ^b |
| Control | 11.03 ^a | 11.02 ^a | 64.6 ^c | 70.25 ^{bc} | 1.41 ^a | 1.98 ^a |

* میانگین‌های دارای حرف همسان در ستون‌ها در آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند.

* Means in each column followed by same letters are not significantly different according to LSD test ($p < 0.05$).

میزان لکه و سفتی میوه

بیشترین میزان لکه میوه با فاصله شایان توجهی نسبت به دیگر تیمارها، در تیمار شاهد بود (۲/۶۸) و کمترین میزان آن بدون اختلاف معنی‌دار با دیگر تیمارها در تیمار کلرید کلسیم ۰/۵ + اسید بوریک ۰/۰۵ درصد (۱/۵۸) مشاهده شد. کمترین میزان سفتی میوه در تیمار شاهد (۱/۳) کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) و بیشترین آن بدون اختلاف معنی‌دار با دیگر تیمارها، در تیمار کود کلسیوگرین (۲/۰۴) کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) دیده شد. به‌طور کلی سفتی در تیمارهای دارای کلسیم، کمتر از تیمارهای توأم کلسیم و بُر است و تیمارهای با غلظت‌های بالاتر کلسیم سفتی بیشتری نسبت به تیمارهای دارای کلسیم کمتر داشتند (جدول ۳). سیب رقم گلاب کهنر رقمی بسیار حساس است که در اثر آسیب مکانیکی و در نتیجه اکسید شدن ترکیب‌های فنولی دچار لکه‌های قهوه‌ای می‌شود (Hadian deljou *et al.*, 2012). در جریان قهوه‌ای شدن آنزیمی ترکیب‌های فنلی مانند کلروژنیک اسید توسط آنزیم پلی فنل اکسیداز به او-کوئینون اکسید می‌شود و او-کوئینون نیز توسط فرآیند بسپارزایی (پلیمریزاسیون) غیر آنزیمی به ملانین تبدیل می‌شود که منجر به تخریب میوه و تشکیل رنگ‌دانه‌های زرد یا قهوه‌ای می‌شود (Awad *et al.*, 2000). کاهش محتوای کلسیم اغلب به دلیل افت در جذب کلسیم در طول فصل رشد میوه و به دنبال آن افزایش سریع جرم میوه رخ می‌دهد. برهمکنش کلسیم و بُر و پکتین‌ها و شبکه بسپار (پلیمر)های به هم پیوسته با یکدیگر دیواره پکتو یاخته‌ای را می‌سازد و به دنبال آن باعث سفتی می‌شود (Dong *et al.*, 2000).

رنگ میوه

نتایج نشان داد که از نظر رنگ بین تیمارهای کلسیم‌دار و تیمارهای توأم کلسیم‌دار و اسید بوریک با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و بهترین رنگ میوه در تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد، تیمارهای کلسیم به تنهایی از تیمارهای توأم کلسیم و اسید بوریک رنگ ضعیف‌تری در میوه‌ها دارند. کاهش رنگ با محلول پاشی کلرید کلسیم

احتمال دارد به دلیل به تأخیر انداختن رسیدن میوه و کاهش میزان تولید اتیلن در میوه باشد. رنگ در پوست سیب به دلیل رنگرزه‌های کارتنوئیدها و سبزینه (کلروفیل)ها که در پلاستیدها و رنگرزه‌های فنولی (آنتوسیانین‌ها) و پیش رنگرزه‌ها (فلاونول‌ها، پروآنتوسیانیدین‌ها) که در واکوئل هستند، است (Lancaster *et al.*, 1994). تیمار کلسیم باعث جلوگیری از افزایش میزان رنگ می‌شود ولی می‌تواند باعث تأخیر در پیری شود.

وزن خشک میوه

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش بیانگر این است که در وزن خشک میوه بین تیمار شاهد و برخی از تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد به‌طوری‌که وزن خشک در تیمارهای دارای کلسیم بهتر از تیمارهای توأم کلسیم و بُر است. بیشترین میزان درصد وزن خشک میوه در تیمار کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد است. در میوه سیب رقم رویال گالا اندازه‌گیری ماده خشک گیاهی در هنگام برداشت با استفاده از طیف‌سنج نوری ارتباط مثبتی با مواد جامد محلول پس از انبار نشان داد (McGlone *et al.*, 2003).

میزان اسیدهای کل

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که اسیدهای کل میوه بین تیمارهای مختلف کلسیم در غلظت‌های مختلف و تیمارهای توأم کلسیم و اسید بوریک هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری ندارد (جدول ۳). میزان اسیدیته قابل عیارسنجی به‌طور مستقیم به غلظت اسیدهای آلی موجود در میوه‌ها بستگی دارد که یک عامل مهم در حفظ کیفیت میوه‌ها است (Kazemi *et al.*, 2011). اسیدهای آلی همانند کربوهیدرات‌ها، مواد مصرف‌شدنی در جریان تنفس محصول هستند. میزان اسیدهای آلی در بیشتر میوه‌ها در مراحل اولیه رشد افزایش می‌یابد. سپس این اسیدها آغاز به کاهش می‌کند و این عمل به‌طور مستمر در حین و پس از مرحله رسیدن ادامه خواهد داشت. Blanco *et al.* (2010) نشان دادند محلول پاشی کلرید کلسیم در طول فصل در سیب رقم گلدن ریندرز در هنگام

برداشت در میزان اسید کل مؤثر نبود که یافته آن‌ها با نتایج این پژوهش در یک راستا است.

میزان مواد جامد محلول

نتایج نشان داد در بین تیمارها بیشترین مواد جامد محلول در تیمار کلرید کلسیم ۰/۵ درصد است و بین دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳). به نظر می‌رسد کلسیم به هم پیوسته در دیواره یاخته‌ای می‌تواند آسیب زنجیره پکتین محلول را به تأخیر انداخته و سپس انحلال کند کربوهیدرات‌ها منجر به سطح پائین محتوای مواد جامد محلول شود. گزارش شده است که تیمارهای کلسیم پیش از برداشت هیچ تأثیری بر میزان محتوای مواد جامد محلول در سیب رقم گلدن اسموتی ندارد (Casero et al., 2010). Liu et al. (2009) نشان دادند که تیمار کلرید کلسیم ۱ درصد باعث تأخیر در رسیدن میوه‌های زردآلو می‌شود.

شاخص طعم

نتایج نشان داد که در شاخص طعم (TSS/TA) هیچ اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کلسیم و توأم کلسیم و اسید بوریک در غلظت‌های مختلف وجود ندارد. Rabiei et al. (2011) نشان دادند که تیمار کلسیم نسبت مواد جامد محلول به اسید کل در سیب رقم جوناگلد را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با میوه‌های شاهد کاهش می‌دهد. نتایج این پژوهش با نتایج Rabiei et al. (2011) همخوانی ندارد که این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت رقم‌های مورد استفاده در دو پژوهش (رقم تابستانه گلاب کهنز در مقایسه با رقم پاییزه جوناگلد) باشد.

pH آب میوه

نتایج نشان می‌دهد تیمارها اختلاف معنی‌داری از نظر pH دارند به‌طوری‌که تیمارهای دارای کلسیم میزان pH بالاتری نسبت به تیمارهای توأم کلسیم و بُر دارند. بیشترین میزان pH در تیمار شاهد است در حالی که کمترین میزان pH در تیمار کلرید کلسیم مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که تیمارهای حاوی اسید بوریک، pH

کمتری نسبت به دیگر تیمارها دارند (جدول ۳). در تیمار شاهد افزایش در pH می‌تواند به دلیل افزایش مواد جامد محلول به دلیل شکستن پکتین‌های نامحلول در یاخته میوه باشد. Angeletti et al. (2010) دریافتند که تیمار کلسیم در بلوبری رقم اونیل باعث کاهش میزان pH می‌شود و تیمار شاهد pH بالاتری نسبت به تیمار با کلسیم دارد که نتایج آن‌ها با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. **میزان ویتامین ث:** نتایج نشان داد که بین تیمارهای کلسیم‌دار و تیمارهای توأم کلسیم و اسید بوریک با تیمار شاهد در میزان ویتامین ث اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری‌که ویتامین ث در تیمارهای توأم کلسیم و بُر بیشتر از تیمارهای دارای کلسیم است. بیشترین میزان ویتامین ث در تیمارهای کلرید کلسیم ۰/۵ درصد و اسید بوریک و همچنین کلرید کلسیم ۱ درصد و اسید بوریک و تیمار ترکیب تجاری ست است در حالی که کمترین میزان ویتامین ث در تیمار شاهد است (جدول ۳). غوطه‌وری در محلول کلسیم در محتوای اسید اسکوربیک مؤثر است. اسید اسکوربیک بالا در بعضی از میوه‌ها به علت نقش مثبت کلسیم بر محتوای اسید اسکوربیک است (Singh et al., 2011). بُر نیز باعث افزایش غلظت اسکوربات و ویتامین ث در گوشت میوه گلابی در حین رشد و انبارداری می‌شود و از راه پیچیده کردن ترکیب‌های فنولی و حذف اکسیژن با رادیکال آزاد، از اکسایش فنول‌ها جلوگیری می‌کند (Arzani et al., 2010).

میزان عنصرهای کانی

پتاسیم

نتایج نشان داد بیشترین میزان پتاسیم در تیمار کلرید کلسیم ۱ درصد است و کمترین میزان پتاسیم بافت میوه در تیمار کلبرون (حاوی کلسیم و بُر) است و به‌طور کلی تیمارهایی که حاوی کلسیم و بُر به‌صورت ترکیب بودند میزان پتاسیم کمتری نسبت به تیمارهای کلسیم به تنهایی داشتند (جدول ۴). بررسی‌های پیشین در مورد میزان پتاسیم میوه سیب نیز نشان داده است که کاربرد کلسیم، می‌تواند غلظت این عنصر را کاهش دهد (Val et al., 2008).

جدول ۳. تأثیر تیمارهای مختلف کلسیم و بُر بر ویژگی‌های کیفی میوهٔ سیب رقم گلاب کهنز (میانگین دو سال)

Table 3. The effect of calcium and boron treatments on qualitative characteristics of 'Golab-e Kohanz' Apple fruit (mean of two years)

| Treatments | Vitamin C (g 100cc) | pH | TSS/TA | TSS (°Brix) | TA (g 100cc) | Dry weight (%) | Color (index) | Firmness (kg/cm ²) | Bit (index) |
|-------------------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Calcium chloride 0.05% | *65.04 ^{ab} | 3.73 ^{abc} | 30.69 ^a | 10.93 ^a | 0.32 ^a | 13.00 ^b | 1.73 ^c | 2.23 ^{ab} | 1.85 ^{bc} |
| Calcium chloride 0.75% | 65.26 ^{ab} | 3.74 ^{abc} | 31.85 ^a | 10.67 ^{ab} | 0.33 ^a | 15.22 ^a | 2.04 ^{bc} | 2.28 ^{ab} | 1.83 ^{bc} |
| Calcium chloride 1% | 64.47 ^{ab} | 3.73 ^{abc} | 31.97 ^a | 10.06 ^{ab} | 0.33 ^a | 13.00 ^b | 1.85 ^c | 2.41 ^a | 1.63 ^c |
| Calcium chloride 0.05% + Boric acid 0.05% | 69.01 ^a | 3.67 ^c | 26.44 ^a | 10.62 ^{ab} | 0.37 ^a | 12.60 ^b | 2.13 ^{ab} | 2.41 ^a | 1.58 ^c |
| Calcium chloride 0.75% + Boric acid 0.05% | 62.65 ^{abc} | 3.72 ^{bc} | 26.80 ^a | 10.87 ^{ab} | 0.34 ^a | 13.54 ^{ab} | 1.85 ^{bc} | 2.42 ^a | 1.66 ^c |
| Calcium chloride 1% + Boric acid 0.05% | 66.02 ^a | 3.66 ^c | 27.41 ^a | 10.31 ^{ab} | 0.35 ^a | 13.08 ^b | 1.98 ^{bc} | 2.42 ^a | 1.80 ^{bc} |
| Calboron (34% calcium and 1% boron) | 54.24 ^{bc} | 3.69 ^c | 27.14 ^a | 10.00 ^{ab} | 0.34 ^a | 12.22 ^b | 1.87 ^{bc} | 2.39 ^a | 1.62 ^c |
| CalcioGreen (34% calcium) | 62.88 ^{abc} | 3.80 ^{ab} | 30.64 ^a | 10.50 ^{ab} | 0.32 ^a | 13.33 ^b | 1.93 ^{bc} | 2.04 ^{ab} | 1.68 ^c |
| Set (8% calcium and 0.05% boron) | 65.83 ^a | 3.74 ^{abc} | 29.99 ^a | 10.87 ^{ab} | 0.36 ^a | 13.18 ^b | 1.91 ^{bc} | 2.30 ^{ab} | 2.11 ^b |
| Control | 51.86 ^c | 3.83 ^a | 33.17 ^a | 10.17 ^{ab} | 0.35 ^a | 12.54 ^b | 2.36 ^a | 1.30 ^c | 2.68 ^a |

* میانگین‌های دارای حرف همسان در ستون‌ها در آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Means in each column followed by same letters are not significantly differed according to LSD test (p<0.05).

جدول ۴. تأثیر تیمارهای مختلف کلسیم و بُر بر محتوای عنصرهای غذایی پتاسیم، کلسیم و بُر در میوهٔ سیب رقم گلاب کهنز

(میانگین دو سال)

Table 4. The effect of calcium and boron treatments on fruit mineral concentration (mean of two years)

| Treatments | K (mg/kg DW ^{**}) | Ca (mg/kg DW) | B (mg/kg DW) |
|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| Calcium chloride 0.05% | *3630.0 ^{bc} | 298.83 ^{ab} | 12.05 ^a |
| Calcium chloride 0.75% | 3795.0 ^{ab} | 297.06 ^{bc} | 11.85 ^a |
| Calcium chloride 1% | 4203.7 ^a | 306.04 ^a | 12.67 ^a |
| Calcium chloride 0.05% + Boric acid 0.05% | 3240.0 ^{cd} | 298.06 ^{ab} | 12.00 ^a |
| Calcium chloride 0.75% + Boric acid 0.05% | 3455.7 ^{bcd} | 290.78 ^b | 11.81 ^a |
| Calcium chloride 1% + Boric acid 0.05% | 3178.2 ^{cd} | 300.68 ^{ab} | 12.63 ^a |
| Calboron (34% calcium and 1% boron) | 3125.7 ^d | 299.46 ^{ab} | 13.11 ^a |
| CalcioGreen (34% calcium) | 3830.7 ^{ab} | 298.64 ^{ab} | 12.81 ^a |
| Set (8% calcium and 0.05% boron) | 3727.5 ^{ab} | 294.30 ^b | 12.23 ^a |
| Control | 3360.0 ^{cd} | 275.33 ^d | 9.06 ^b |

* میانگین‌های دارای حرف همسان در ستون‌ها در آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Means in each column followed by same letters are not significantly differed according to LSD test (p<0.05).

** Dry weight

مرحلهٔ تمام گل به‌طور مؤثری باعث افزایش محتوای کلسیم در بافت میوهٔ سیب رقم گلاب دلشیز می‌شود.

میزان بُر میوه

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد، کمترین بُر بافت میوه در تیمار شاهد مشاهده می‌شود درحالی‌که بیشترین میزان بُر بافت میوه در کود تجاری کلبرون که حاوی کلسیم و بُر است مشاهده شد (جدول ۴). حد بهینهٔ غلظت بُر در بافت میوهٔ سیب بسته به رقم بین ۶۰-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Peryea, 1994). غلظت بُر میوه در تیمار شاهد پایین‌تر از حد بهینهٔ این عنصر است ولی همهٔ تیمارهای محلول‌پاشی (کلسیم به تنهایی و کلسیم به همراه بُر) میزان بُر میوه را به دامنهٔ بهینهٔ آن ارتقاء داده‌اند. بُر باعث پایداری غشای پکتو یاخته‌ای به‌وسیلهٔ واکنش با ترکیب‌های کربوکسیل می‌شود و در پاسخ

میزان کلسیم میوه

نتایج نشان داد که در تیمارهای کلسیم‌دار، میزان کلسیم بیشتر از تیمارهای توأم کلسیم و بُر است. بیشترین میزان کلسیم میوه در تیمار کلرید کلسیم ۱ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد است (جدول ۴). غلظت بهینهٔ کلسیم در سیب به‌طور میانگین بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در ۱ کیلوگرم وزن خشک میوه است (Saure, 2005). غلظت کلسیم میوه در همهٔ تیمارهای این آزمایش در دامنهٔ بهینهٔ غلظت این عنصر است، که تیمار شاهد به مرز پایینی این دامنه نزدیک است و همهٔ تیمارهای محلول‌پاشی با اینکه سبب افزایش کلسیم میوه شده‌اند ولی هیچ‌کدام از آن‌ها نتوانسته است میزان کلسیم میوه را به سطح بالایی این دامنهٔ بهینه ارتقاء دهد، که این مسئله می‌تواند ناشی از تفاوت در رقم مورد بررسی باشد. Lötze *et al.* (2008) نیز نشان داده‌اند که محلول‌پاشی کلسیم در طول ۶ تا ۹ هفته پس از

به کمبود بُر، در ساختار غشاء و اندام‌ها تغییرهایی صورت می‌گیرد (Dugger, 1983).

فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار توأم کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد و اسید بوریک ۰/۰۵ درصد و کمترین میزان آن در تیمار شاهد است (جدول ۵). نتایج پژوهش Kou *et al.* (2014) نشان می‌دهد که محلول پاشی کلسیم پیش از برداشت در کلم بروکلی به‌طور معنی‌داری میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز را در مقایسه با شاهد افزایش می‌دهد که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش همخوانی دارد. تیمار با کلسیم باعث پیشرفت در فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی مانند سوپر اکسید دیسموتاز می‌شود که تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند و از آسیب پروتئین‌های اکسایشی (اکسیداتیو) می‌کاهند.

آنزیم اسکوربیک پراکسیداز

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد بیشترین

فعالیت آنزیم اسکوربیک پراکسیداز در تیمار توأم کلرید کلسیم ۱ درصد و اسید بوریک ۰/۰۵ بود و پس‌از آن تیمار کلرید کلسیم ۰/۵ درصد قرار داشت و کمترین فعالیت آنزیم مربوط به تیمار شاهد بود. در تیمارهای توأم کلسیم و اسید بوریک میزان فعالیت آنزیم اسکوربیک پراکسیداز بیشتر از تیمارهای کلسیم به تنهایی است (جدول ۵). تیمار کلرید کلسیم در زغال‌آخته باعث از بین رفتن گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی شده است (Supapvanich *et al.*, 2012).

آنزیم کاتالاز

نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار توأم کلرید کلسیم ۰/۵ درصد + اسید بوریک ۰/۰۵ درصد و پس‌از آن تیمار کلبرون (حاوی کلسیم و بُر) است و کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تیمار شاهد و پس‌از آن تیمار کلرید کلسیم ۱ درصد است. نشان داده شده که میزان فعالیت بالای آنزیم کاتالاز در سیب در تیمارهای توأم نیترات کلسیم و استات کلسیم افزایش یافته است (Rabiei *et al.*, 2011).

جدول ۵. تأثیر تیمارهای مختلف کلسیم و بُر بر فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی (میانگین دو سال)

Table 5. The effect of calcium and boron treatments on antioxidants enzymes (mean of two years)

| Treatments | SOD (ml mol/min g FW)** | APX (ml mol/min g FW) | CAT (ml mol/min g FW) |
|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Calcium chloride 0.05% | 11.33 ^{ab} * | 514.51 ^{ab} | 9.26 ^{abc} |
| Calcium chloride 0.75% | 10.22 ^{ab} | 501.00 ^c | 9.42 ^{abc} |
| Calcium chloride 1% | 11.46 ^{ab} | 503.11 ^{bc} | 8.65 ^{dc} |
| Calcium chloride 0.05% + Boric acid 0.05% | 11.46 ^{ab} | 504.13 ^{bc} | 11.04 ^a |
| Calcium chloride 0.75% + Boric acid 0.05% | 12.80 ^a | 512.50 ^{abc} | 9.95 ^{abc} |
| Calcium chloride 1% + Boric acid 0.05% | 11.17 ^{ab} | 515.89 ^a | 9.69 ^{abc} |
| Calboron (34% calcium and 1% boron) | 10.88 ^{ab} | 508.16 ^{abc} | 10.47 ^{ab} |
| Calciogreen (34% calcium) | 11.58 ^{ab} | 507.59 ^{abc} | 9.21 ^{bc} |
| Set (8% calcium and 0.05% boron) | 11.03 ^{ab} | 509.23 ^{abc} | 10.31 ^{abc} |
| Control | 9.30 ^b | 480.77 ^d | 7.28 ^d |

* میانگین‌های دارای حرف همسان در ستون‌ها در آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Means in each column followed by same letters are not significantly different according to LSD test (p<0.05).

** Fresh weight

نتیجه‌گیری کلی

محلول پاشی کلسیم و بُر در طول فصل رشد با توجه به نقشی که در دیواره غشای پکتو یاخته‌ای دارند، ویژگی‌های میوه از جمله میزان سفتی، وزن تر و میزان اسکوربیک اسید را در میوه سیب رقم گلاب که‌هنز در مقایسه با شاهد افزایش داد و باعث کاهش

لکه، زنگار میوه شد ولی رنگ میوه در زمان برداشت را نیز کاهش داد. همچنین محلول پاشی کلسیم و بُر، میزان ریزش پیش از برداشت را کاهش داد. فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و اسکوربیک پراکسیداز با محلول پاشی پیش از برداشت کلسیم و بُر افزایش یافت. همچنین مشخص

و در موارد بسیاری هم ضعیف‌تر از این ترکیب بودند. همچنین به‌رغم اینکه افزایش غلظت محلول پاشی کلسیم از ۰/۵ تا ۱ درصد باعث افزایش برخی شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده شد ولی در بیشتر موارد این اختلاف معنی‌دار نبود.

شد که با تیمار کلسیم و بُر محتوای کلسیم و بُر میوه نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی ترکیب‌های تجاری کلسیم‌دار که تبلیغات گسترده‌ای روی آن صورت می‌گیرد و قیمت بالاتری هم نسبت به کلرید کلسیم دارند، برتری چندانی نسبت به کلرید کلسیم نداشتند

REFERENCES

1. Angeletti, P., Castagnasso, H., Miceli, E., Terminiello, L., oncellón, A., Chaves, A. & Vicente, A. R. (2010). Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Postharvest Biology & Technology*, 58, 98-103.
2. A.O.A.C. (1995). *Official methods of analysis*. (16th Edn.) Association of Official Analytical Chemists International, Arlington, Virginia, U.S.A.
3. Arzani, K., khoshghalb, H., Malakouti, M. J. & Barzegar, M. (2010). Effect of Ca, Zn and B applications and harvest time on fruits polyphenol oxidase (PPO) activity in two Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) cultivars during storage. *Journal of Crops Improvement*, 12(2), 1-9. (in Farsi)
4. Atkinson, R. G., Schroder, R., Hallett, I.C. Cohen, D. & MacRae, E. A. (2002). Overexpression of polygalacturonase in transgenic apple trees leads to a range of novel phenotypes involving changes in cell adhesion. *Plant Physiology*, 129, 122-133.
5. Awad, M. A. & Jager, A. (2000). Flavonoid and chlorogenic acid changes in skin of 'Elstar' and 'Jonagold' apples during and after regular and ultra-low oxygen storage. *Postharvest Biology & Technology*, 20, 15-24.
6. Beauchamp, C. & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutases: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. *Annual Biochemistry*, 44, 276-287.
7. Bennewitz, E. V., Cooper, T., Benavides, C., Losak, T. & Hlusek, J. (2011). Response of "Jonagold" apple trees to Ca, K and Mg fertilization in an andisol in southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11(3), 71-81.
8. 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.
9. Casero, T., Benavides, A. L. & Recasens, I. (2010). Interrelation between fruit mineral content and preharvest calcium treatments on 'Golden smoothee' apple quality. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 27-37.
10. Chatzissavvidis, C. & Therios, I. (2010). Response of four olive (*Olea europaea* L.) cultivars to six B concentrations: growth performance, nutrient status and gas exchange parameters. *Scientia Horticulturae*, 127, 29-38.
11. Codling, E. E., Mulchi, C. L. & Chaney, R. L. (2007). Grain yield and mineral element composition of maize grown on high phosphorus soils amended with water treatment residual. *Journal of Plant Nutrition*, 30, 225-240.
12. Creasy, L. L. (1980). The correlation of weather parameters with russet of 'Golden Delicious' apples under orchard conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105, 735-738.
13. Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Experimental Botany*, 32, 93-101.
14. Dong, X., Wrolstad, R. E. & Sugar, D. (2000). Extending shelf life of fresh-cut pears. *Jornal of Food Science*, 65, 181-186.
15. Dugger, W. M. (1983). Boron in plant metabolism. In: Lauchli, A., R.I. Bielecki, (eds). *Encyclopedia of Plant Physiology*, New series, New York, Springer, pp. 626-650.
16. Fallahi E, Conway, W. S., Hickey, K. D. & Sams, C. E. (1997). The role of calcium and nitrogen in post harvest quality and disease resistance of apples. *HortScience*, 32, 831-835.
17. Goulao, L. F. & Oliveira, C. M. (2008). Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends Food Science & Technology*, 19, 4-25.
18. Hadian-Deljou, M. & Sarikhani, H. (2012). Effect of salicylic acid on maintaining post-harvest quality of apple cv. 'Golabe-Kohanz'. *Journal of Crops Improvement*, 14 (2), 71-82. (in Farsi)
19. Harker, F. R., Kupferman, E. M., Marin, A. B. Gunson, F. A. & Triggs, C. M. (2008). Eating quality standards for apples based on consumer preferences. *Postharvest. Biology & Technology*, 50, 70-78.

20. Huber, D. J. (1984). The role of cell wall hydrolase in fruit softening. *Horticultural Reviews*, 5, 169-219.
21. Jones, H. G., Higgs, K. H. & Samuelson, T. J. (1983). Calcium uptake by developing apple fruits. Seasonal changes in calcium content of fruits. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 58, 173-182.
22. Kazemi, M., Aran, M. & Zamani, S. (2011). Effect of salicylic acid treatments on quality characteristics of apple fruits during storage. *American Journal of Plant Physiology*, 6(2), 113-119.
23. Kadir, S. A. (2004). Fruit quality at harvest of Jonathan apple treated with foliarly-applied calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 1991-2006.
24. Knee, M. & Srivastava, P. (1995). Binding of calcium by cell walls and estimation of calcium in apple fruit tissue with an ion selective electrode. *Postharvest Biology & Technology*, 5, 19-27.
25. Klein, B. & Perry, A. (2006). Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographical areas of the United States. *Journal of Food Science*, 47, 941-945.
26. Kou, L., Yang, T., Luo, Y., Liu, X., Huang, L. & Codling, E. (2014). Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. *Postharvest Biology & Technology*, 87, 70-78.
27. McGlone, V. A., Jordan, R. B., Seelye, R. & Clark, C. J. (2003). Dry matter- a better predictor of the post-storage soluble solids in apples? *Postharvest Biology & Technology*, 28, 431-435.
28. Lancaster, J. E., Grant, J. E. & Lister, C. E. (1994). Skin color in apples- influence of pigmentation and plastid pigments on shade and darkness of red color in five genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119, 63-69.
29. Liu, H., Chen, F., Yang, H., Yao, Y., Gong, X. & Xin, Y. (2009). Effect of calcium treatment on nanostructure of chelate-soluble pectin and physicochemical and textural properties of apricot fruits. *Food Research International*, 42, 1131-1140.
30. Lötze, E., Joubert, J. & Theron, K. I. (2008). Evaluating pre-harvest foliar calcium applications to increase fruit calcium and reduce bitter pit in 'Golden Delicious'. *Scientia Horticulturae*, 116, 299-304.
31. Mostoufi, Y., Hajizadeh, M. & Ebrahimzadeh Mosavi, A. (2007). Maintaining of quality and extending storability of Iranian local apple golab kohanz by modified atmosphere packaging. *Seed and Plant Improvement Journal*, 23(1), 87-99. (in Farsi)
32. Miller, R. H. (1982). Apple fruit cuticles and the occurrence of pores and transcuticular canals. *Annual Botany* 50, 355-3710.
33. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen Peroxide is scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant & cell physiology*, 22, 867-870.
34. Ortiz, A., Graell, J. & Lara, I. (2011). Preharvest calcium applications inhibit some cell wall-modifying enzyme activities and delay cell wall disassembly at commercial harvest of 'Fuji Kiku' apples. *Postharvest Biology & Technology*, 62, 161-167
35. Peng, G., Wu, J., Lu, W. & Li, J. (2013). A polygalacturonase gene clustered into clade E involved in lychee fruitlet abscission. *Scientia Horticulturae*, 150, 244-250.
36. Peryea, F. J. (1994). Boron nutrition in deciduous tree fruit. In: Peterson, A.B. and Stevens, R.G. (Eds.), *Tree Fruit Nutrition*. Good Fruit Grower, Yakima, Washington, pp. 95-99.
37. Pesis, E., Ebeler, S. E., de Freitas, S. T., Padda, M. & Mitcham, E. J. (2010). Short anaer-obiosis period prior to cold storage alleviates bitter pit and superficial scald in 'Granny Smith' apples. *Journal Science Food & Agriculture*, 90, 2114-2123.
38. Rabiei, V., Shirzadeh, E., Sharafi, Y. & Mortazavi, N. (2011). Effects of postharvest applications of calcium nitrate and acetate on quality and shelf-life improvement of "Jonagold" apple fruit. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(19), 4912- 4917.
39. Saure, M. C. (2005). Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, 105, 65-89.
40. Singh, D., Beloy, J., McInerney, J. & Day, L. (2011). Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). *Food Chemistry*, 132(3), 1161-1170.
41. Souty, M., Reich, M., Breuils, L., Chambroy, Y., Jacquemin, G. & Audergon, J. M. (1995). Effects of postharvest calcium treatments on shelf-life and quality of apricot fruit. *Acta Horticulturae*, 384, 619-623.
42. Supapvanich, S., Arkajak, R. & Yalai, K. (2012). Maintenance of postharvest quality and bioactive compounds of fresh-cut sweet leaf bush (*Sauropus androgynus* L. Merr.) through hot CaCl₂ dips. *International Journal of Food Science & Technology*, 47, 2662-2670.
43. Swietlik, D. & Faust, M. (1984). Foliar nutrition of fruit crops. *Horticultural Review*, 6, 287-355.
44. Val, J., Monge, E. Risco, D. & Blanco, A. (2008). Preharvest calcium sprays at high rates increase calcium concentration only in the apple skin. *Est. Exp. de Aula Dei*, 202.
45. Wojcik, P., Wojcik, M. & Klamkowski, K. (2008). Response of apple trees to boron fertilization under conditions of low soil boron availability. *Horticulture Science*, 116, 58-64.
46. Wolf, B. (1974). Improvement in the Azomethine-H method for determination of boron. *Common Soil Science Plant Annul*, 5, 39-44.