

## تأثیر محلول پاشی تاج درخت با سدیم سلنات بر غنی سازی زیستی سلنیوم و حفظ کیفیت میوه سیب 'استار کینگ دلشس' در طول دوره انبارمانی

شیدا محبی<sup>۱</sup>، مصباح بابالار<sup>۲\*</sup>، ذبیح اله زمانی<sup>۳</sup> و محمد علی عسکری سرچشمه<sup>۳</sup>  
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۸)

### چکیده

در این پژوهش اثر محلول پاشی تاج درخت سیب 'استار کینگ دلشس' با سلنات سدیم در ۴ سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی گرم در لیتر) در ۲ نوبت (در دوره بزرگ شدن میوه)، بر خصوصیات کمی و کیفی و انبارمانی میوه و همچنین امکان پذیری محلول پاشی تاج درخت به عنوان روش تولید میوه های غنی از سلنیوم مورد مطالعه قرار گرفت. میوه ها بعد از برداشت در سردخانه در دمای ۱±۱ درجه سانتی گراد با رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد به مدت ۶ ماه نگهداری شدند. نمونه ها در روز صفر قبل از انباری و در طول دوره نگهداری با فواصل ۱ ماهه از سردخانه خارج شده و به منظور ایجاد حالت مشابه در خرده فروشی ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس از نظر فاکتورهای مختلف فیزیکی و شیمیایی نظیر رنگ سطحی، آنتوسیانین، pH، اسید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، ویتامین ث، میزان تولید اتیلن و تجمع سلنیوم در میوه مورد اندازه گیری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که محلول پاشی تاج درخت با سلنات سدیم منجر به افزایش غلظت سلنیوم در برگ ها و میوه شد. تیمار میوه ها با سطوح مختلف سلنیوم تفاوت معنی داری در کاهش تولید اتیلن، حفظ سفتی گوشت، pH، اسید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، ویتامین ث و رنگ سطحی نسبت به میوه های شاهد داشتند. همچنین میوه های تحت تیمار ۱/۵ میلی گرم در لیتر سلنیوم، بهترین اثر را در حفظ مقدار ویتامین ث و آنتوسیانین میوه ها نشان داد. در مجموع، محلول پاشی تاج درخت در غنی سازی زیستی سلنیوم در میوه سیب مؤثر بوده و متعاقباً تأثیر معنی داری در حفظ کیفیت میوه در طول انبار سرد داشته است.

واژه های کلیدی: اتیلن، پس از برداشت، رنگ سطحی میوه و ویتامین ث.

## Influence of canopy spraying with sodium selenate on selenium biofortification and fruit quality maintenance of 'Starking Delicious' apple during storage

Sheida Mohebbi<sup>1</sup>, Mesbah Babalar<sup>2\*</sup>, Zabihollah Zamani<sup>2</sup> and Mohammad Ali Askari Sarcheshmeh<sup>3</sup>  
1, 2, 3. Former Ph. D. Student, Professor and Associate Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Jan. 2, 2017 - Accepted: May 30, 2017)

### ABSTRACT

In this research the effects of canopy sodium selenate spraying at 4 levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mg Se L<sup>-1</sup>) twice at the period of fruit enlargement on quantitative and qualitative attributes and storage life of 'Starking Delicious' apple fruits, and the viability of canopy spraying as a method of producing Se-enriched fruits, were evaluated. After harvest, the fruits were stored at 1±1°C and 90-95% relative humidity for 6 months. Samples were taken initially and at 1-month intervals during storage and to simulate market conditions they were placed at room temperature for 24 hr, and then physicochemical parameters such as surface color, anthocyanin, pH, titrable acidity, total soluble solids, vitamin C, ethylene production and selenium accumulation in fruits were measured. Results showed that canopy sodium selenate spraying resulted in an increase in Se concentration both in leaves and fruits. Fruit treatment with different levels of Se had significant effect in reduction of ethylene production, maintaining of flesh firmness, pH, titrable acidity, total soluble solids, vitamin C and surface color compared to control fruits. Also, treating of the fruits with 1.5 mg Se showed the best effect in retaining of vitamin C and anthocyanin. Overall, canopy selenium spraying was effective in Se bio-fortification of apple fruit, and subsequently had significant effect in quality retention during cold storage.

**Keywords:** Ethylene, fruit surface color, postharvest, vitamin c.

\* Corresponding author E-mail: mbabalar@ut.ac.ir

### مقدمه

در طول دوره رشد و نمو میوه سیب، عوامل زیادی اثر مستقیم بر کیفیت و رفتار پس از برداشت آن دارند، که از مهمترین آنها می توان به ژنوتیپ و تغذیه مواد معدنی اشاره نمود. مدیریت تغذیه برای حداکثر عملکرد و افزایش کیفیت و بهره‌وری ضروری است (Dris et al., 1998). تغذیه گیاه با عناصر ریزمغذی و درشت مغذی ضروری و غیرضروری اثر قابل ملاحظه‌ای بر رشد، نمو، ترکیب و خصوصیات کیفی، و وقوع بیماری‌ها و نابسامانی‌های فیزیولوژی میوه هم روی گیاه و هم در دوره پس از برداشت دارد (Fageria, 2009; Savvas et al., 2008). اگرچه منابع متعددی در رابطه با تأثیر عناصر ریزمغذی ضروری وجود دارد اما در رابطه با عناصر ریزمغذی غیرضروری مانند سلنیوم پژوهش اندکی صورت گرفته است (Hu et al., 2003; Malorgio et al., 2009; Pezzarossa et al., 2010; Pezzarossa et al., 2014; Rios et al., 2012). حتی در برخی موارد در رابطه با طبقه‌بندی سلنیوم به‌عنوان یک عنصر غیرضروری در گیاهان عالی اتفاق نظر وجود ندارد. اگرچه سلنیوم در غلظت‌های بالا برای گیاهان مضر است، اما در غلظت‌های پایین دارای اثر مفیدی است. نقش مفید سلنیوم در گونه‌هایی با قابلیت تجمع مقادیر قابل توجه سلنیوم و نیاز بالا به این عنصر جهت رشد طبیعی و در برخی محصولات جهت مقابله با تنش‌های اکسیداتیوی مورد مطالعه قرار گرفته است (Djanaguiraman et al., 2005). همچنین گزارش شده است که به‌دلیل خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، سلنیوم در گیاهانی مانند کاهو در مقابل تنش‌های اکسیداتیوی ناشی از اشعه UV دارای نقش حفاظتی بوده و حتی سبب بهبود رشد گیاهان در معرض مقادیر بالای انرژی می‌شود (Xue et al., 2001). سلنیوم اثر مثبت بر مقاومت در برابر تنش فتواکسیداسیونی در سیب‌زمینی دارد (Seppanen et al., 2003). افزودن سلنات به خاک سبب طولانی شدن دوره رشد رویشی در گیاه و تأخیر در شروع پیری میوه‌های گوجه‌فرنگی شد (Pezzarossa et al., 1999). مشخص شده است که محلول پاشی تاج درختان هلو و گلابی با سدیم سلنات بر عمر قفسه‌ای میوه مؤثر بوده و باعث

کاهش سرعت نرم شدن و رسیدن میوه گردیده است (Pezzarossa et al., 2012). همچنین، محلول پاشی برگ‌ی با سلنیوم باعث افزایش پارامترهای حفاظتی مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، فنول کل و عوامل مهارکننده رادیکال‌های آزاد و متعاقباً کمک به گیاهان جهت کاهش پراکسیداسیون لیپید، افزایش تحمل و بهبود عملکرد و کیفیت میوه پرتقال ناول شد (Elham et al., 2013).

علاوه بر تأثیر بر متابولیسم و فیزیولوژی محصولات مختلف، افزایش غلظت سلنیوم، خواص مرتبط با سلامت محصول را افزایش می‌دهد. در حقیقت، سلنیوم به‌عنوان جزئی از ترکیب آمینواسید سلسنوسیتئین<sup>۱</sup>، در چندین آنزیم مانند گلوکوتائون پراکسیداز، تیوردوکسین‌ردوکتاز، سلنوپروتئین<sup>۲</sup> و سوپراکسید دیسمیوتاز (SOD) وجود دارد (Birringer et al., 2002; Ferrarese et al., 2012). در انسان، گزارش شده است که سلنیوم در مکانیسم‌های دفاعی و بیوسنتز هورمون در بزرگسالان و نوزادان نقش دارد. سلنیوم به‌طور عمده در تولید هورمون فعال تیروئید، در عملکرد ماهیچه‌ها، در فرآیند تولید مثل و در پاسخ سیستم ایمنی به برخی از عفونت‌ها دخیل است. مدارک و شواهد روزافزونی مبنی بر ضرورت کاربرد سلنیوم بدون تجاوز از آستانه سمی، در تضمین سلامت طولانی مدت مانند کاهش خطر سرطان در انسان وجود دارد (Dhur et al., 2007; Finley, 1990). مصرف محصولات غنی شده با سلنیوم به‌دلیل زیست‌فراهمی بالاتر شکل‌های آلی، می‌تواند روش مناسبی برای مصرف سلنیوم باشد (Pezzarossa et al., 2014).

محتوای سلنیوم در گیاهان می‌تواند به روش‌های مختلفی افزایش یابد که شامل افزودن سلنیوم به خاک، غوطه‌وری بذور در محلول سلنیوم قبل از کشت، کشت هیدروپونیک و ایروپونیک<sup>۳</sup> در محلول غذایی حاوی سلنیوم و محلول پاشی گیاه با محلول سلنیوم بوده است (Bittman et al., 1997; Hu et al., 2003; Kopsell et al., 2009; Pezzarossa et al., 2012; Zhao & Shewry, 2011). نشان داده شده است که

1. Selenocysteine

2. Selenoprotein

3. Hydroponic and aeroponic cultivation

جلوگیری از صدمات اکسیداسیونی باشد. اهمیت دسترسی مردم به سیب غنی‌شده به‌عنوان یک میوه مهم در سراسر دنیا که پس از مرکبات و موز به لحاظ میزان مصرف در مقام سوم قرار دارد، می‌تواند به‌عنوان استراتژی مستقیم جهت افزایش جذب سلنیوم از رژیم غذایی، دارای اثر سودمندی باشد.

با توجه به پژوهش‌های پیشین در رابطه با اثر سلنیوم در افزایش عملکرد و کیفیت میوه در محصولات میوه‌ای و سایر محصولات باغبانی و این‌که مطالعه تأثیر سلنیوم در میوه سیب، زمینه جدیدی است که پژوهشی در رابطه با آن صورت نگرفته است، هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم برای غنی‌سازی زیستی میوه سیب با هدف افزایش میزان سلنیوم دریافتی از رژیم غذایی انسان، و همچنین اثر افزایش میزان سلنیوم بر بهبود کیفیت و انبارمانی میوه می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ بر درختان ۱۲ ساله سیب 'استارکینگ دلشس' (*Malus × domestica* cv. Starking Delicious) پیوند شده بر پایه مالینگ مرتون ۱۰۶، کشت‌شده در فواصل ۳×۱/۵ متر و تحت سیستم آبیاری قطره‌ای در باغ واقع در منطقه دماوند انجام شد. این درختان به لحاظ قدرت رشدی، عملیات کشاورزی منظم مانند مدیریت شخم‌زنی، آبیاری و کنترل آفات دارای شرایط مشابهی بودند. تیمار سولفات سدیم ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ , Sigma Aldrich) به‌صورت محلول‌پاشی تاج درخت در ۴ سطح غلظتی صفر (به‌عنوان شاهد)، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر، در ۲ مرحله طی بزرگ‌شدن میوه (محلول‌پاشی اول؛ ۶۰ روز پس از تمام گل و محلول‌پاشی دوم؛ ۲ هفته پس از محلول‌پاشی اول)، اعمال شد. محلول‌پاشی درختان (۵ لیتر به‌ازای هر درخت) در صبح و در شرایطی که دما زیاد نبود تا هنگام جاری‌شدن رواناب، اعمال گردید. میوه‌های درختان سیب 'استارکینگ دلشس' محلول‌پاشی‌شده با سلنیوم و نیز میوه‌های درختان محلول‌پاشی‌شده با آب (شاهد) در مرحله بلوغ تجاری بر اساس عرف محل، به‌طور تصادفی از قسمت‌های

محلول‌پاشی برگ‌ها و میوه‌ها یا تاج درخت در مقایسه با کاربرد کود سلنیومی در خاک ارجح‌تر بوده و این موضوع به‌دلیل کارایی بیشتر جذب سلنیوم در غیاب اثر ترکیبات باقی‌مانده<sup>۱</sup> است (Gupta *et al.*, 1988). همچنین محلول‌پاشی برگ‌ها و میوه‌ها باعث مصرف حداقل میزان نمک‌های سلنیومی بوده و ایمن‌ترین و اقتصادی‌ترین روش پذیرفته‌شده برای بهبود محتوای سلنیوم در محصولات است (Djujic *et al.*, 2000). محلول‌پاشی برگ سلنیوم در افزایش محتوای سلنیوم در اکثر محصولات مانند شیکوری (Germ *et al.*, 2007)، جو و گندم (Gupta *et al.*, 1988) و سیب‌زمینی (Poggi *et al.*, 2000) مؤثر بوده است. در جای سبز محلول‌پاشی برگ سلنیوم نه‌تنها سبب افزایش محتوای سلنیوم شد بلکه عملکرد گیاه، مقادیر آمینواسیدهای کل و ویتامین ث را نیز افزایش داد (Hu *et al.*, 2003). گزارش شده است که محلول‌پاشی برگ سلنیوم در مقایسه با دو روش کوددهی در خاک و تزریق به تنه درخت<sup>۲</sup> منجر به افزایش غلظت سلنیوم میوه و نیز افزایش عملکرد و کیفیت میوه عناب<sup>۳</sup> شده و این روش می‌تواند برای تولید میوه‌های غنی از سلنیوم با محتوای مطلوب این عنصر برای سلامت انسان مفید باشد (Zhao *et al.*, 2013). همچنین، گزارش شده است که سلنیوم در به تأخیر افتادن فرآیند پیری در گیاه مؤثر بوده و بنابراین می‌تواند در کاهش میزان ضایعات پس از برداشت از طریق افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی مرتبط با افزایش فعالیت گلوکاتیون‌پراکسیداز مؤثر باشد (Xue *et al.*, 2001). مشخص شده است که محلول‌پاشی تاج درختان هلو و گلابی با سدیم‌سلنات بر عمر قفسه‌ای میوه مؤثر بوده و باعث کاهش سرعت نرم‌شدن و رسیدن میوه گردیده است (Pezzarossa *et al.*, 2012)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد سیب غنی‌شده با سلنیوم به‌عنوان میوه‌ای با مصرف نسبتاً بالا و قابلیت دسترسی در طول سال در ایران، بتواند کاندید مناسبی در رژیم غذایی روزانه به‌منظور تامین سلنیوم به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مورد نیاز بدن و

1. Residual effects
2. Trunk injection
3. Pear-jujub

هم در استوای میوه انجام شد و شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  اندازه‌گیری شدند. شاخص  $L^*$  یا میزان روشنایی از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، شاخص  $a^*$  یا میزان قرمزی از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و شاخص  $b^*$  یا میزان زردی از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند (Guiné & Fernandes, 2006). زاویه هیو به‌عنوان شاخصی از درک انسان از رنگ پوست میوه است که زاویه ۰ و یا ۳۶۰ درجه، نمایانگر رنگ قرمز و زاویه‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰، به‌ترتیب نشان‌دهنده رنگ‌های زرد، سبز و آبی می‌باشد که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

جهت اندازه‌گیری میزان جذب آنتوسیانین از ترکیب روش Mohebbi et al. (2015) و Dong et al. (1995) استفاده شد. ۵ گرم از پوست میوه در ده میلی‌لیتر الکل اتانول همگن‌شده و عصاره توسط دستگاه سانتریفوژ صاف گردید. سپس میزان جذب عصاره توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-160، شیمادزو، ژاپن) در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت گردید. میزان جذب عصاره به‌عنوان شاخص غلظت آنتوسیانین بیان شد.

**اندازه‌گیری pH، درصد اسید قابل تیتراسیون (TA) و مواد جامد محلول کل (TSS) عصاره میوه**

تعداد ۳ میوه از هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب و آبگیری شده و پس از انجام فیلتراسیون توسط کاغذ صافی، برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل، درصد اسید قابل تیتراسیون و pH مورد استفاده قرار گرفت. مقدار مواد جامد محلول کل (TSS) به‌روش رفرآکتومتری (مدل RF-40، والثام<sup>۱</sup>، ایالت متحده آمریکا) و به‌صورت درصد بیان شد.

مختلف درختان برداشت، اتیکت‌گذاری و بلافاصله به گروه علوم باغبانی دانشگاه تهران منتقل شدند. میوه‌های یکنواخت از نظر اندازه، رنگ، درجه رسیدگی و عاری‌بودن از بیماری انتخاب شده و جهت از بین‌بردن هر گونه آلودگی یا گرد و غبار از سطح میوه‌های انتخاب شده، به‌خوبی با آب مقطر شسته و برای خشک‌شدن در معرض جریان هوا قرار داده شدند. سپس میوه‌های تیمار شده و شاهد، داخل جعبه‌های مشبک پلاستیکی نگهداری میوه، در دو لایه در هر جعبه قرار داده شده و پس از اتیکت‌گذاری، تا زمان انجام آزمایش در سردخانه (دمای ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد) نگهداری شدند. این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل (زمان انبارمانی و همچنین سطوح مختلف تیمار سلنیوم) کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. میوه‌های موجود در هر تیمار و شاهد در روز صفر قبل از دوره انباری و سپس در هر مرحله از نمونه‌برداری با فواصل ۳۰ روزه (از میوه‌های هر تکرار ۵ عدد) از سردخانه خارج شده و برای ایجاد حالت مشابه در خرده‌فروشی‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت (Sharma et al., 2013) در شرایط محیطی اتاق (دمای  $25 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد) قرار گرفته و سپس در آزمایشگاه از نظر صفات کیفی و کمی مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی وضعیت خاک، نمونه‌گیری از نقاط مختلف باغ انجام شد و برای آنالیز به آزمایشگاه میزان سنجش پاسارگاد (کرج) منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ قابل مشاهده است.

### رنگ ظاهری میوه و اندازه‌گیری شاخص آنتوسیانین

رنگ ظاهری میوه با استفاده از رنگ‌سنج مینولتا (مدل CR ۴۰۰، ژاپن) بررسی گردید. از هر تیمار ۱۰ میوه به تصادف انتخاب گردید و قرائت‌ها از دو نقطه مقابل

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil from the experimental site

| Texture         | K (mgkg <sup>-1</sup> ) | P (mgkg <sup>-1</sup> ) | N (%) | OM (%) | pH | EC (ds.m <sup>-1</sup> ) | TNV% |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------|--------|----|--------------------------|------|
| Sandy Clay Loam | 1000                    | 52                      | 0.16  | 1.87   | 8  | 3.36                     | 18   |

TNV%: Total Neutralising Value = درصد مواد خنثی‌شونده

OM: Organic Matter = مواد آلی

نمونه برداری اتیلن با استفاده از ونوجکت و سوزن دوسر مخصوص انجام شد. ۱ میلی لیتر از نمونه گاز توسط سرنگ همیلتون از ونوجکت برداشته شد و مقدار اتیلن تولیدشده با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف (شیمادزو مدل ۱۰۲، ژاپن)، اندازه گیری شد.

#### تجمع سلنیوم

غلظت سلنیوم تجمع یافته در برگ ها و میوه های سیب محلول پاشی شده با سطوح مختلف سلنیوم با روش Zasoski & Burau (1977) اندازه گیری شد. نمونه های برگ و میوه پس از خشک شدن در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و رسیدن به وزن ثابت، آسیاب و از غربال ۱ میلی متری عبور داده شد و پس از هضم با اسید نیتریک و اسید پرکلریک و کاهش توسط اسید هیدروکلریک با استفاده از اسپکترومتری جرمی ICP در شرکت زرآما (تهران) آنالیز شد. غلظت سلنیوم بر اساس وزن خشک (میکروگرم در کیلوگرم وزن خشک) بیان شد. ۳ عدد میوه از هر تکرار به عنوان نمونه مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۲۰ عدد برگ از قسمت میانی شاخه های یکساله به طور تصادفی از هر تکرار انتخاب شد.

#### طرح آزمایشی و تجزیه آماری

این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. داده ها پس از جمع آوری، مرتب شده و با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۲) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ انجام گرفت.

#### نتایج و بحث

رنگ ظاهری میوه و اندازه گیری شاخص آنتوسیانین بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری شاخص روشنایی ( $L^*$ ) در روز صفر و همچنین در طول دوره انبارمانی در میوه های تحت تیمار سلنیوم و شاهد نشان داد که به لحاظ میزان روشنایی اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. به طوری که از همان روز

pH آب میوه با استفاده از یک pH متر دیجیتالی (آمل B-334، میلان، ایتالیا) اندازه گیری شد. اسید قابل تیتراسیون از طریق تیتراسیون ۱۰ میلی لیتر از آب میوه با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به  $pH = 8/2$  انجام شده و نتایج آن با استفاده از رابطه ۲ به صورت درصد و بر مبنای غالبیت اسید مالیک بیان شد.

(۲) = اسید قابل تیتراسیون (% as Malic acid)

سود مصرفی × نرمالیت سود × وزن اکی والان  
اسید غالب

× ۱۰۰ حجم نمونه تیتر شده × ۱۰۰۰

وزن اکی والان اسید مالیک = ۶۷

#### اندازه گیری سفتی میوه

سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی سنج دستی (FDK32، واگنر، آمریکا)، با قطر پیستون ۸ میلی متر و در ۲ قسمت استوایی میوه پس از جدا کردن پوست میوه اندازه گیری شد.

#### اندازه گیری ویتامین ث

میزان ویتامین ث بر حسب میلی گرم آسکوربیک اسید موجود در ۱۰۰ میلی لیتر از آب میوه، با روش تیتراسیون با کمک یدور پتاسیم و معرف نشاسته و با استفاده از ۵ میلی لیتر از آب میوه اندازه گیری شد. مقدار ویتامین ث با استفاده از فرمول ۳ بر حسب میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه بیان گردید (Mostofi & Asghari Marjanlou, 2010).

(۳) = ویتامین ث (میلی گرم در

۱۰۰ گرم آب تازه میوه)

(۰/۸۸ × مقدار محلول ید مصرفی)

۵

#### اندازه گیری میزان تولید اتیلن

میزان تولید اتیلن میوه با روش به کار برده شده توسط Soleimani Aghdam *et al.* (2008) با کمی تغییر اندازه گیری شد. ۳ عدد میوه از هر تیمار پس از تعیین حجم و وزن، درون ظروف پلاستیکی کاملاً درز بسته با حجم مشخص در شرایط آزمایشگاهی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت،

است (جدول ۳) به طوری که سطح آنتوسیانین با افزایش غلظت سلنیوم همبستگی مثبت نشان داده و میوه های محلول پاشی شده از میزان جذب نوری آنتوسیانین بیشتری در مقایسه با شاهد برخوردار بودند (جدول ۲). در پژوهشی دیگر گزارش شده است که از نظر میزان آنتوسیانین در کلم قرمز بین غلظت های مختلف سلنیوم و شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد (Mechora *et al.*, 2011). نتایج مشابهی در خصوص افزایش میزان آنتوسیانین در برگ های ریحان محلول پاشی شده با سطوح مختلف سلنیوم گزارش شده است (Hawrylak-Nowak, 2008). در چندین پژوهش دیگر نیز گزارش شده است که در مقایسه با شاهد، تیمار سلنیوم به طور چشمگیری موجب افزایش محتوای آنتوسیانین ها و فلاونوئیدهای نشاهای گندم و سورگوم شد (Abbas, 2013; Chu *et al.*, 2010). در گیاهان افزایش سطوح آنتوسیانین و فلاونوئیدها اغلب ناشی از عوامل تنش زای مختلف است (Winkel- Shirley, 2002). به نظر می رسد محلول پاشی با سلنیوم مقدار آنتوسیانین را با میزان سنتز و یا تجزیه آن تحت تأثیر قرار می دهد. با در نظرگیری فعالیت بیولوژیکی آنتوسیانین ها و ترکیبات فنولی گیاهان در انسان و حیوانات، به نظر می رسد افزایش محتوای این ترکیبات در زیست توده گیاه پدیده ای مثبت باشد.

صفر (قبل از قراردعی میوه ها در انبار سرد) میزان روشنایی میوه های تحت تیمار نسبت به شاهد پایین تر بود، اگرچه از نظر آماری تفاوتی با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). همچنین در طول دوره انبارمانی میزان روشنایی هم در میوه های شاهد و هم در میوه های محلول پاشی شده با سلنیوم افزایش یافت و این افزایش در میوه های شاهد در مقایسه با میوه های محلول پاشی شده با سطوح مختلف سلنیوم بیشتر بود. با افزایش غلظت سلنیوم محلول پاشی شده، افزایش میزان روشنایی میوه ها کمتر بود (جدول ۲). به طوری که کمترین میزان آن در پایان دوره انباری در تیمار ۱/۵ میلی گرم در لیتر سلنیوم و بیشترین میزان آن در میوه های شاهد مشاهده شد (جدول ۲). افزایش روشنایی یک روند طبیعی در دوره پس از برداشت بسیاری از میوه ها محسوب می شود (Fernando *et al.*, 2007). یکی از عوامل افزایش روشنایی میوه ها تجزیه و تخریب رنگدانه ها و کاهش محتوای آنتوسیانین در طول دوره انبارمانی است (Pérez & Sanz, 2001). نتایج مشابهی در خصوص افزایش روشنایی در ارقام مختلف میوه سیب تحت شرایط رشدی و تیمارهای مختلف در طول دوره انبارمانی گزارش شده است (Ganai *et al.*, 2015).

محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم سطوح آنتوسیانین را در میوه های سیب تحت تأثیر قرار داده

جدول ۲. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان درخشندگی، هیو و آنتوسیانین میوه سیب 'استار کینگ دلشس' طی مدت زمان انبارمانی

Table 2. Effect of canopy selenium spraying on lightness, Hue and antioxidant activity of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

| Character              | Se treatment (mg Se L <sup>-1</sup> ) | Storage time (month) |             |             |             |             |             |            |  |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--|
|                        |                                       | 0                    | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6          |  |
| Lightness              | Control                               | 18.75ijklmn          | 28.53def    | 36.12 c     | 38.45 c     | 44.60 b     | 47.64 b     | 52.77 a    |  |
|                        | 0.5 Se                                | 15.3mn               | 15.95lmn    | 17.6jklmn   | 21.7hijk    | 27.1 efg    | 31.1 ed     | 37.4c      |  |
|                        | 1 Se                                  | 14.13n               | 14.83mn     | 16.9klmn    | 20.02 ijklm | 22.98 ghij  | 23.55 fghi  | 33.44cd    |  |
|                        | 1.5 Se                                | 14.6m n              | 14.70 cdefg | 15.70 lmn   | 18.75ijklmn | 20.95 hijkl | 23.55 fghi  | 28.85def   |  |
| Hue                    | Control                               | 23.1e                | 28.33e      | 33.65d      | 38.7 c      | 42.58 bc    | 46.4 ab     | 22.60ef    |  |
|                        | 0.5 Se                                | 11.13mnopq           | 11.31mnopq  | 12.97jklmno | 18.8ghi     | 22.13 fg    | 22.45 fg    | 15.5hijklm |  |
|                        | 1 Se                                  | 7.97opq              | 9.3nopq     | 11.67lmnopq | 16.7 hijkl  | 18.2ghij    | 17.91 ghijk | 20.63gh    |  |
|                        | 1.5 Se                                | 7q                   | 7.2pq       | 10.4mnopq   | 12.41lmnop  | 14ijklmn    | 12.8klmno   | 230.81FG   |  |
| Anthocyanin (O.D. 530) | Control                               | 1.35n                | 1.32n       | 1.4mn       | 1.35 n      | 1.17 o      | 0.99 p      | 0.77q      |  |
|                        | 0.5 Se                                | 1.79cdefgh           | 1.77defghi  | 1.83abcdef  | 1.74 fghij  | 1.68 ijk    | 1.61 kl     | 1.45 m     |  |
|                        | 1 Se                                  | 1.86abcd             | 1.85abcde   | 1.88abc     | 1.79 bcdefg | 1.76 efghij | 1.7 hijk    | 1.56 l     |  |
|                        | 1.5 Se                                | 1.94a                | 1.9ab       | 1.93a       | 1.87 abc    | 1.81bcdefg  | 1.73ghijk   | 1.66 jkl   |  |

میانگین های دارای حروف مشترک در داده های مرتبط با صفت مورد بررسی، از نظر آماری بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی داری ندارند.

Values within each data for each character with the same letters are not statistically different at  $p \leq 0.01\%$ , according to Duncan's multiple range test.

حفظ pH بودند. این نتایج با نتایج به دست آمده از بررسی تأثیر سطوح سلیوم بر pH میوه‌های پرتقال ناول مطابقت داشت (Elham *et al.*, 2013). تنفس و مصرف اسیدهای آلی موجود در میوه دلیل اصلی افزایش میزان pH می‌باشد (Serrano *et al.*, 2005).

میزان اسید قابل تیتراسیون با توجه به همبستگی منفی با pH عصاره یک روند کاهشی را در طی مدت انبارداری نشان داد. اسیدهای آلی موجود در میوه سیب، در طول مدت نگهداری در انبار در اثر فعالیت تنفسی مصرف شده و کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه تیمار سطوح مختلف سلیوم با شاهد نشان داد که میوه‌های تحت تیمار ۱/۵ میلی گرم در لیتر سلیوم دارای بیشترین میزان اسید قابل تیتراسیون بودند، که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات تولید اتیلن، این امر احتمالاً ناشی از شدت تنفس کم میوه در دمای پایین و تأثیر کاربرد سلیوم بر کاهش شدت تنفس در تیمار ذکر شده می‌باشد. این با نتایج حاصل از تأثیر کاربرد سلیوم در حفظ اسید قابل تیتراسیون در میوه‌های پرتقال ناول مطابقت داشت (Elham *et al.*, 2013).

میزان مواد جامد محلول کل در طول دوره انبارداری در میوه‌های سیب کاهش یافت و این کاهش در میوه‌های شاهد بیشتر از میوه‌های تحت تیمار سلیوم بود (شکل ۳). بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار سطوح مختلف سلیوم با شاهد نیز نشان داد از نظر میزان مواد جامد محلول کل اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. هرچند تیمار با سلیوم ۱/۵ میلی گرم در لیتر از مواد جامد محلول بیشتری برخوردار بود، در طی دوره انبارداری نیز کاهش در میزان مواد جامد محلول در تمام تیمارها اتفاق افتاد، اما بین تیمار سطوح مختلف سلیوم اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت (شکل ۳). این با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های دیگر در خصوص حفظ مواد جامد محلول کل در میوه‌های گلابی، پرتقال ناول و خرمای تحت تیمار سلیوم منطبق بود (Pezzarossa *et al.*, 2012; Elham *et al.*, 2013; Gad El-Kareem *et al.*, 2014). ولی با نتایج پژوهش‌های دیگر که در آنها میزان مواد جامد محلول کل در میوه‌های هلو و گوجه‌فرنگی تحت تیمار

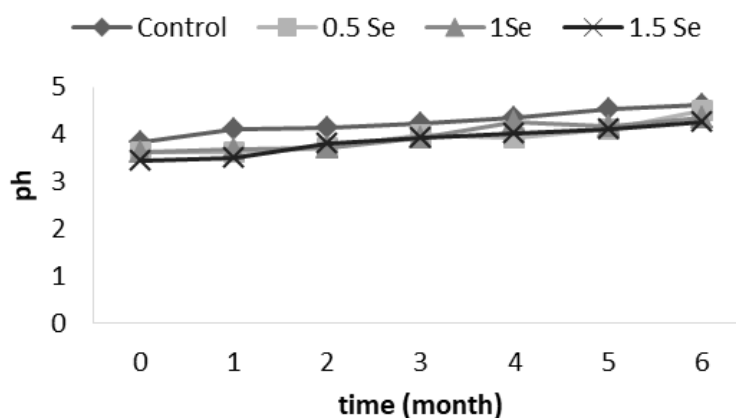
میزان زاویه هیو یک روند افزایش را در طی مدت انباری در تمام تیمارها به‌ویژه در نمونه‌های شاهد به‌جز در آخرین نمونه‌گیری نشان داد. همچنین تیمار با سلیوم موجب کاهش میزان زاویه هیو گردید که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات میزان آنتوسیانین در این آزمایش، با کاهش میزان آنتوسیانین در طول مدت انبارداری با افزایش میزان هیو مواجه هستیم. میزان آنتوسیانین تا پایان دوره انباری کاهش یافت اما این کاهش در میوه‌های محلول‌پاشی شده با سطوح مختلف سلیوم در مقایسه با میوه‌های شاهد کمتر بود به طوری که میوه‌های شاهد بیشترین میزان کاهش را نشان دادند و از کمترین میزان آنتوسیانین برخوردار بودند (جدول ۲). الگوی متفاوت در تغییر رنگ سطحی میوه‌های مختلف به دلیل تفاوت در غلظت و نسبت ترکیبات رنگی مختلف است (Zheng *et al.*, 2008). فعالیت زیاد آنزیم‌های اکسیداتیو نظیر پلی‌فنول اکسیداز که باعث اکسید شدن فنول‌ها می‌شود منجر به ایجاد تغییرات در رنگ و میزان آنتوسیانین میوه می‌شود (Vamos- Vigos, 1981). عامل دیگر در کاهش میزان آنتوسیانین افزایش pH است که باعث تخریب آنتوسیانین می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH در این آزمایش، در طول مدت انبارداری افزایش pH در میوه‌ها به وقوع پیوسته است که می‌تواند در کاهش میزان آنتوسیانین مؤثر بوده باشد.

#### میزان pH، درصد اسید قابل تیتراسیون (TA) و مواد جامد محلول کل (TSS) عصاره میوه

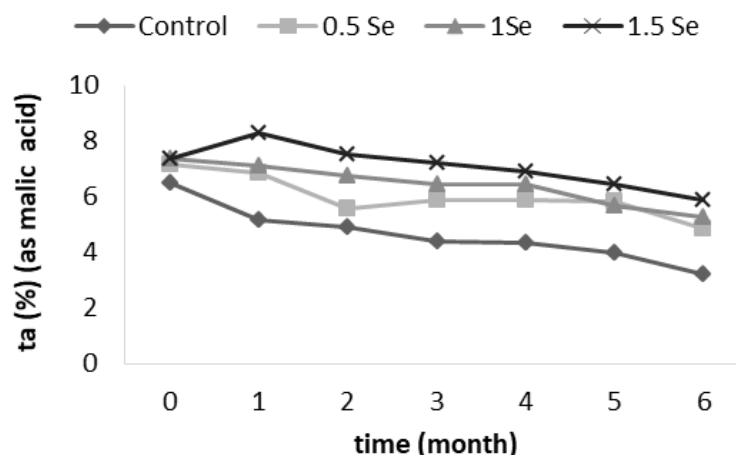
میزان pH در طول دوره انبارداری، هم در میوه‌های شاهد و هم در میوه‌های تحت تیمار سطوح مختلف سلیوم (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی گرم در لیتر) افزایش یافت اما این افزایش به ترتیب برای میوه‌های شاهد و میوه‌های تحت تیمار ۰/۵ میلی گرم در لیتر بیشتر از تیمارهای ۱ و ۱/۵ میلی گرم در لیتر سلیوم بود (شکل ۱) و هر چند اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد بین تیمارهای ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ میلی گرم در لیتر وجود نداشت اما به ترتیب تیمار ۱/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر سلیوم به‌عنوان بهترین تیمارها از نظر

ساده در فرآیند تنفس باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج حاصل از اندازه گیری تغییرات تولید اتیلن در این آزمایش به نظر می رسد که کاربرد سلنیوم با تأثیر بر کاهش میزان تولید اتیلن و کاهش شدت تنفس نقش مهمی را در جلوگیری از مصرف قندها و اسیدها ایفا می کند. با وجود اینکه شدت تنفس محصولات باغبانی در دماهای پایین و به خصوص با اعمال برخی تیمارهای قبل از برداشت کاهش می یابد، کاهش قندها و اسیدها در طول مدت انبارمانی، در اثر مصرف آنها، به عنوان سوبسترای اصلی در متابولیسم تنفسی باعث تغییراتی در مقادیر مواد جامد محلول کل، درصد اسید قابل تیتراسیون و pH می شود.

سطوح مختلف سلنیوم تغییرات معنی داری نداشتند، مغایرت داشت (Pezzarossa *et al.*, 2012; Pezzarossa *et al.*, 2014). میزان مواد جامد محلول کل میوه ها به عنوان یکی از شاخص های رسیدگی میوه ها مطرح است (Kazemi *et al.*, 2011). نشاسته از ترکیبات ذخیره ای سیب است که طی رشد و نمو میوه تجمع می یابد و تجزیه آن هنگام بلوغ میوه، منبع عمده قندهای میوه (ساکارز، گلوکز، فروکتوز و بخش کمی سوربیتول) می باشد که سبب شیرینی میوه می شود (Hadian-Deljou & Sarikhani, 2012). بنابراین به نظر می رسد روند کاهش در میزان مواد جامد محلول در طول دوره انبارمانی به دلیل مصرف قندهای



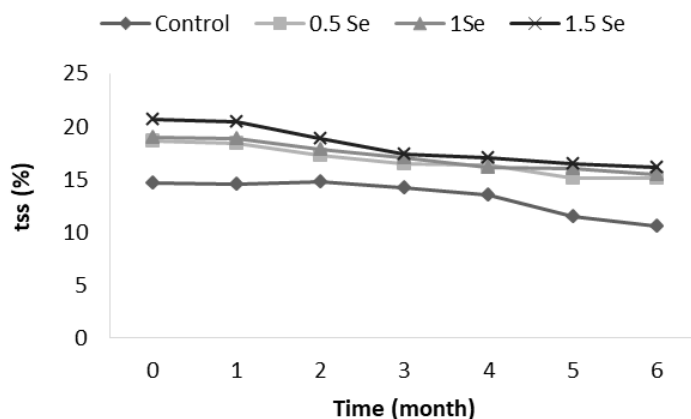
شکل ۱. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان pH میوه سیب 'استارکینگ دلشیس' طی مدت زمان انبارمانی  
Figure 1. Effect of canopy selenium spraying on pH of 'Starking Delicious' apple fruit during storage



شکل ۲. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان اسید قابل تیتراسیون (TA) میوه سیب 'استارکینگ دلشیس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 2. Effect of canopy selenium spraying on titrable acidity (TA) of 'Starking Delicious' apple fruit during storage





شکل ۳. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان مواد جامد محلول کل (TSS) میوه سیب 'استارکینگ دلشیس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 3. Effect of canopy selenium spraying on total soluble solids (TSS) of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

#### مقدار ویتامین ث

ویتامین ث در طول دوره انبارمانی در میوه‌ها کاهش یافت (شکل ۵). این با نتایج محققین دیگر که اعلام کردند میزان ویتامین ث در میوه‌ها طی مدت زمان انبارمانی کاهش می‌یابد، مطابقت دارد (Lee & Kader, 2000). به نظر می‌رسد عامل مؤثر دیگر افزایش اسیدیته یا pH است که باعث تخریب ویتامین ث می‌شود که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH در این آزمایش و افزایش آن در طول مدت انبارمانی قابل توجیه است. همچنین مقایسه تیمار سطوح مختلف سلنیوم نشان داد که میوه‌های تحت تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم دارای بیشترین میزان ویتامین ث بودند، به طوری که بین میزان ویتامین ث و غلظت سلنیوم کاربردی همبستگی مثبت وجود داشت (شکل ۵). این با نتایج Hu *et al.* (2003) در خصوص اثر محلول پاشی برگی سلنیوم در چای سبز بر افزایش ویتامین ث، منطبق بود، ولی با نتایج Elham *et al.* (2013) که بیان کرده بودند افزایش غلظت سلنیوم تأثیر معنی‌داری بر حفظ محتوای ویتامین ث میوه‌های پرتقال ناول نداشت، مغایرت داشت. به نظر می‌رسد سلنیوم از طریق خواص آنتی‌اکسیدانی خود و یا از طریق فعال کردن مکانیسم‌هایی موجب کاهش فعالیت اکسیداسیونی و متعاقباً حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث شده است.

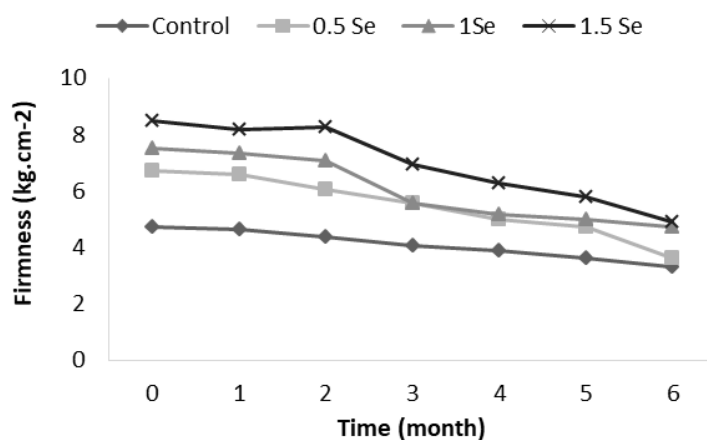
#### میزان تولید اتیلن

بررسی نتایج حاصل از میزان تولید اتیلن در طول دوره

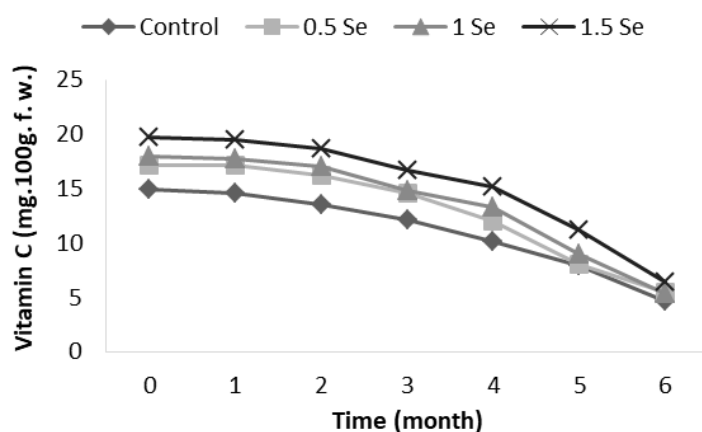
#### سفتی بافت میوه

سفتی یکی از صفات کیفی مهم در مقبولیت میوه‌ها و سبزی‌های تازه توسط مصرف‌کننده می‌باشد. بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی در طول آزمایش نشان داد که بین زمان‌های مختلف اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت؛ به طوری که مقدار آن از ۶/۸۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در روز برداشت به ۴/۱۴ در پایان دوره آزمایش رسید (جدول ۳). همچنین با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار سطوح مختلف سلنیوم و شاهد، با افزایش غلظت محلول پاشی سلنیوم میزان سفتی میوه‌ها به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل ۴). این نتایج با گزارش دیگر مبنی بر وجود همبستگی مستقیم بین افزایش غلظت سلنیوم کاربردی و افزایش سفتی میوه عناب، مطابقت داشت (Zhao *et al.*, 2013). نرم‌شدن میوه یک تغییر کیفی مهم برای ارزیابی میزان رسیدگی است (Sams, 1999). آنزیم پلی‌گالاکتوروناز عامل مؤثری در فرآیند رسیدن میوه است که با شکستن پکتین دیواره سلولی باعث نرم‌شدن بافت میوه می‌شود. در میوه‌های هلو و گلابی مشخص شده است که محلول پاشی سلنیوم تولید اتیلن را کاهش داده و مانع فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی و متعاقباً منجر به کاهش میزان تنفس و فعالیت آنزیم‌های مؤثر در رسیدگی، تأخیر در فرآیند رسیدن و کاهش سرعت نرم‌شدن گردیده و به این ترتیب تأثیر مثبتی بر عمر انبارمانی میوه داشته است (Pezzarossa *et al.*, 2012).

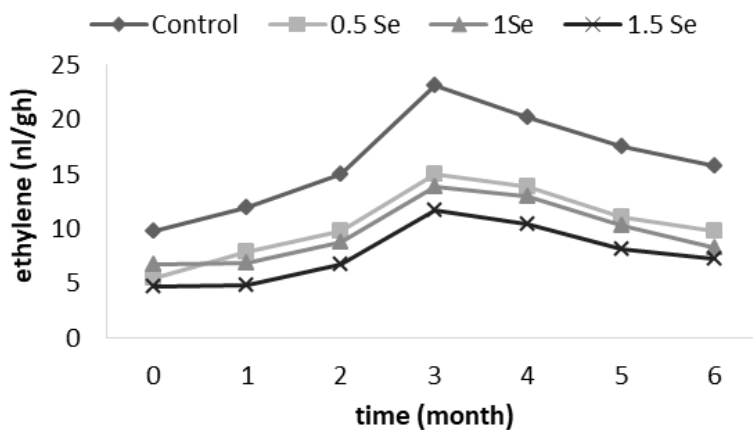
انبارمانی نشان داد که میزان تولید اتیلن در طی این اندازه گیری آخر تفاوت معنی داری نشان نداده اند مدت روند افزایشی داشته است اگرچه در ۴ (شکل ۶).



شکل ۴. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر سفتی میوه سیب 'استارکینگ دلشس' طی مدت زمان انبارمانی  
Figure 4. Effect of canopy selenium spraying on firmness of 'Starking Delicious' apple fruit during storage



شکل ۵. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان ویتامین ث میوه سیب 'استارکینگ دلشس' طی مدت زمان انبارمانی  
Figure 5. Effect of canopy selenium spraying on vitamin C content of 'Starking Delicious' apple fruit during storage



شکل ۶. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان تولید اتیلن میوه سیب 'استارکینگ دلشس' طی مدت زمان انبارمانی  
Figure 6. Effect of canopy selenium spraying on ethylene production of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

رسیدن و ضدپیری مشهود است. در حقیقت، در میوه‌های حاوی سلنیوم کاهش سرعت تجزیه و تخریب آنتوسیانین، کاهش میزان تولید اتیلن، حفظ TSS، TA و pH مؤید این مسئله است که فرآیندهای مرتبط با رسیدن و پیری با اثرات مثبت بالقوه به لحاظ عمر انباری و قفسه‌ای، تحت تأثیر این عنصر ریزمغذی قرار گرفته‌اند.

### تجمع سلنیوم

در رابطه با مسئله مربوط به تغذیه و سلامتی در مصرف سیب‌های غنی‌شده با سلنیوم، مقدار مجاز سلنیوم در رژیم غذایی (RDA)؛<sup>۲</sup> تا ۵۵ میکروگرم در روز برای افراد بزرگسال عنوان شده است. اگرچه انجمن تغذیه در کشورهای آلمان، اتریش و سوئیس مصرف روزانه ۳۰ تا ۷۰ میکروگرم سلنیوم را برای زنان و مردان بزرگسال توصیه می‌کند. دوز قابل‌تحمل<sup>۳</sup> سلنیوم برای افراد بزرگسال ۴۰۰ میکروگرم در روز گزارش شده است (Pezzarossa et al., 2014). در اکثر کشورهای عضو اتحادیه اروپا سطوح سلنیوم در رژیم غذایی پایین‌تر از دستورالعمل RDA است (Malorgio et al., 2009). با توجه به متوسط وزن تازه یک سیب تیمار شده (۲۰۰ گرم متناظر با ۳۶ گرم وزن خشک) و میانگین غلظت سلنیوم میوه (۹۱، ۱۸۰ و ۲۷۵ میکروگرم در کیلوگرم وزن خشک به‌ترتیب در تیمارهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم)، محتوای سلنیوم در هر میوه تیمار شده با سطوح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب برابر با حدود ۳/۳، ۶/۵ و ۱۰ میکروگرم سلنیوم بود (جدول ۵). نتایج نشان می‌دهد که مصرف منظم روزانه میوه‌های سیب تیمار شده با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نه‌تنها باعث ایجاد سمیت نشده بلکه می‌تواند به‌عنوان مکمل سلنیوم برای تغذیه انسان در نظر گرفته شود. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم روش مفیدی برای تولید میوه‌های سیب غنی از سلنیوم با محتوای مطلوب این عنصر برای سلامت انسان باشد. اگرچه، سطوح سلنیوم به میزان جذب این ماده مغذی از سایر منابع غذایی نیز وابسته است (Pezzarossa et al., 2014). با این وجود

همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار سطوح مختلف سلنیوم نشان داد که محلول‌پاشی با سلنیوم در هر سه غلظت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر منجر به کاهش معنی‌دار میزان تولید اتیلن در مقایسه با شاهد شد اما با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند به‌علاوه، هم در روز برداشت و هم در دوره انبارمانی تیمار با سلنیوم موجب تفاوت معنی‌دار تولید اتیلن در مقایسه با شاهد شد (شکل ۶). در فرآیند رسیدن میوه‌های فرازگرا مانند سیب، تولید اتیلن، فرآیندهای متعدد وابسته به تولید اتیلن (مانند نرم‌شدن میوه) را القا می‌کند. به‌نظر می‌رسد که تجمع سلنیوم در میوه احتمالاً باعث کاهش بیوسنتز اتیلن شده است. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های پیشین در خصوص فرآیند رسیدن نشان داده است که سلنیوم از طریق کاهش میزان تولید اتیلن در تأخیر رسیدن و پیری میوه گوجه‌فرنگی و پیری کاهو و شیکوری مؤثر است (Malorgio et al., 2009; Pezzarossa et al., 2014). در گونه‌های مدل آرابیدوپسیس، رشد در محیط کشت حاوی سلنیوم با غلظت ۳/۲ میلی‌گرم در لیتر تأثیر منفی بر نمو گیاه نشان داد، همچنین در بخش هوایی و ریشه‌ها منجر به افزایش بیان<sup>۱</sup> ژن‌های مختلف دخیل در تنظیم پیام‌دهی و سنتز اتیلن شد (Van Hoewyca et al., 2008). احتمال می‌رود که سطوح بالای سلنیوم که تأثیر منفی بر رشد گیاه داشته‌اند، باعث تحریک و القای واکنش‌های مقابله با شرایط تنش‌زا که در آن اتیلن (و سایر هورمون‌ها یا مولکول‌های پیام‌دهی) دخیل هستند، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل نموده باشد (Hasanuzzaman et al., 2010). در شرایط کشت هیدروپونیک، سلنیوم در سطوح پایین (۱ میلی‌گرم در لیتر) ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق مداخله در بیوسنتز اتیلن باعث ایجاد اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضدپیری و کاهش ضایعات پس از برداشت در کاهو (Xue et al., 2001) و گوجه‌فرنگی (Pezzarossa et al., 2014) شود. با توجه به نتایج حاصل از تغییرات آنتوسیانین، مواد جامد محلول کل، میزان اسیده‌ها، pH و میزان تولید اتیلن در طول دوره ۶ ماه انبارداری، اثرات سلنیوم بر تأخیر در فرآیند

2. The Recommended Dietary Allowance  
3. Tolerable

1. Up-regulation

سلنیوم بهترین اثر را در حفظ مقدار ویتامین ث و آنتوسیانین میوه‌ها نشان داد. در مجموع، روش محلول پاشی تاج درخت سیب با سلنیوم برای تولید میوه‌های غنی از سلنیوم با محتوای مطلوب این عنصر برای سلامت انسان مؤثر بوده و متعاقباً تأثیر معنی داری در حفظ کیفیت میوه در طول انبار سرد داشته است.

جدول ۵. اثر محلول پاشی تاج درخت با سلنیوم بر غلظت

سلنیوم (میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک) در برگ و میوه

سیب 'استار کینگ دلشس' در زمان برداشت

Table 5. Effect of canopy selenium spraying on Se concentration ( $\mu\text{g kg}^{-1}$  dry weight) in leaf and fruit of 'Starking delicious' apple at harvest

| Se concentration ( $\mu\text{g Se kg}^{-1}$ DW) |       |       |
|---|-------|-------|
| Se treatment ( $\text{mg Se L}^{-1}$ )          | Leaf  | Fruit |
| Control   | 15 d  | 0.1d  |
| 0.5 Se  | 120 c | 91 c  |
| 1 Se  | 210 b | 180 b |
| 1.5 Se  | 360 a | 275 a |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آماری بر اساس آزمون

چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Values within each column with the same letters are not statistically different at  $p \leq 1\%$ , according to Duncan's multiple range test.

محلول پاشی تاج درخت سیب با هر ۳ سطح سلنیوم مورد آزمون در این پژوهش به دلیل تجمع مقادیر پایین سلنیوم در میوه‌ها، حتی در صورت مصرف تعداد بیشتری از میوه‌های سیب تیمار شده با این سطوح، باعث ایجاد خطر سمیت نمی‌شود. گرچه بهبود سلامت انسان از طریق افزایش مصرف مواد غذایی غنی از سلنیوم نیازمند درک کامل و تلفیق کشاورزی و شیمی تغذیه سلنیوم می‌باشد (Pezzarossa et al., 2014).

### نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که محلول پاشی تاج درخت با سلنات سدیم در افزایش غلظت سلنیوم در برگ‌ها و میوه مؤثر بوده است. تیمار میوه‌ها با سطوح مختلف سلنیوم تفاوت معنی داری در کاهش تولید اتیلن، حفظ سفتی گوشت، pH، اسید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، ویتامین ث و رنگ سطحی نسبت به میوه‌های شاهد داشتند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در بین تمام تیمارها، میوه‌های تحت تیمار ۱/۵ میلی گرم در لیتر

## REFERENCES

1. Abbas, M. S. (2013). Low levels of selenium application attenuate low temperature stress in sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench.] seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 45(5), 1597-1604.
2. Birringer, M., Pilawa, S. & Flohč, L. (2002). Trends in selenium biochemistry. *Natural Product Reports*, 19, 693-718.
3. Bittman, S., Buckley, W. T., Zaychuk, K. & Brown, E. A. P. (1997). Seed coating for enhancing the level of Se in crops. Patent US 6058649.
4. Chu, X., Yao, Z. & Zhang (2010). Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. *Biological Trace Element Research*, 136, 355-363.
5. Dhur, A., Galan, P. & Herberg, S. (1990). Relationship between selenium, immunity and resistance against infection. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 96, 271-280.
6. Djujic, I. S., Jozanov-Stankov, O. N., Milovac, M., Jankovic, V. & Djermanovic, V. (2000). Bioavailability and possible benefits of wheat intake naturally enriched with selenium and its products. *Biological Trace Element Research*, 77, 273-285.
7. Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A. & Bangarusamy, U. (2005). Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 85, 77-86.
8. Dong, Y. H., Mitra, D. & Kootstra, A. (1995). Postharvest Stimulation of Skin Color in Royal Gala Apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120 (1), 95-100.
9. Dris, R., Nikanen, R. & Fallahi, E. (1998). Nitrogen and calcium nutrition and fruit quality of commercial apple cultivars grown in Finland. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 2389-2402.
10. Elham, Z., Motty, A. E. & Orabi, S. A. (2013). The beneficial effects of using zinc, yeast and selenium on yield, fruit quality and antioxidant defense systems in navel orange trees grown under newly reclaimed sandy soil. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(10), 6487-6497.
11. Fageria, N. K. (2009). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press, Francis & Taylor Group, Boca Raton.
12. Ferrarese, M., Sourestani, M. M., Quattrini, E., Schiavi, M. & Ferrante, A. (2012). Biofortification of spinach plants applying selenium in the nutrient solution of floating system. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 76, 127-136.

13. Finley, J. W. (2007). Increased intakes of selenium-enriched foods may benefit human health. *The Journal of Science of Food and Agriculture*, 87, 1620-1629.
14. Gad El-Kareem, M. R., Abdel Aal, A. M. K. & Mohamed, A. Y. (2014). The synergistic effects of using silicon and selenium on fruiting of Zaghloul date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *International Journal of Biological, Veterinary, Agricultural and Food Engineering*, 8 (3), 247-250.
15. Ganai, S. A., Ahsan, H., Wani, I. A., Lone, A. A., Mir, S. A. & Wani, S. M. (2015). Colour changes during storage of apple cv. Red delicious- influence of harvest dates, precooling, calcium chloride and waxing. *International Food Research Journal*, 22(1), 196-201.
16. Germ, M., Stibilj, V., Osvald, J. & Kreft, I. (2007). Effect of selenium foliar applications on chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 55, 795-798.
17. Guiné, R. P. F. & Fernandes, R.M.C. (2006). Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *Journal of Food Engineering*, 76, 460-467.
18. Gupta, U. C., Winter, K. A. & McRae, K. B. (1988). Selenium application of crops through foliar applications. *Canadian Journal of Soil Science*, 68, 519-526.
19. 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)
20. Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A. & Fujita, M. (2010). Selenium in higher plants: Physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Science*, 5, 354-375.
21. Hawrylak-Nowak, B. (2008). Changes in anthocyanin content as indicator of maize sensitivity to selenium. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 1232-1242.
22. Hawrylak-Nowak, B. (2008). Enhanced selenium content in sweet basil (*ocimum basilicum* L.) by foliar fertilization *Vegetable Crops Research Bulletin*, 69, 63-72.
23. Hu, Q., Xu, J. & Pang, G. (2003). Effects of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in early spring. *Journal of Agricultural Food & Chemistry*, 51 (11), 3379-3381.
24. 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.
25. Kopsell, D. A., Sams, C. E., Barickman, T. C. & Deyton, D. E. (2009). Selenization of basil and cilantro through foliar applications of selenate-selenium and selenite-selenium. *HortScience*, 44 (2), 438-442.
26. Lee, S. K. & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207-220.
27. Malorgio, F., Diaz, K., Ferrante, A., Mensuali, A. & Pezzarossa, B. (2009). Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in floating system. *Journal of Agricultural Food & Chemistry*, 89(13), 2243-2251.
28. Mechora Š. Stibilj, V., Tjaša Radešček, T., Gaberščik, A. & Germ, M. (2011). Impact of Se (VI) fertilization on Se concentration in different parts of red cabbage plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(2), 357-361.
29. Mohebbi, S., Mostofi, Y., Zmani, Z. & Najafi, F. (2015). Influence of Modified Atmosphere Packaging on Storability and Postharvest Quality of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) Fruits. *Notulae Scientia Biologicae*, 7(1), 116-122.
30. Mostofi, Y. & Asghari Marjanlou, A. (2010). The Effect of UV-C Radiation on Gray Mold Decay Control and Postharvest Quality of Strawberry (cv. Selva). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(1), 39-46. (in Farsi)
31. Pérez, A. G. & Sanz, C. (2001). Effect of high oxygen and high carbon dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 2370-2375.
32. Pezzarossa, B., Malorgio, F. & Tonutti, P. (1999). Effects of selenium uptake by tomato plants on senescence, fruit ripening and ethylene evolution. In: A. K., Kanellis, C., Chang, H., Klee, A. B., Bleecker, J. C., Pech, & D., Grierse, (Eds.), *Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylene*. (pp. 275-276.) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
33. Pezzarossa, B., Remorini, D., Gentile, M. L. & Massai, R. (2012). Effects of foliar and fruit addition of sodium selenate on selenium accumulation and fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 781-786.
34. Pezzarossa, B., Rosellini, I., Borghesi, E., Tonutti, P. & Malorgio, F. (2014). Effects of Se-enrichment on yield, fruit composition and ripening of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 165, 106-110
35. Poggi, V., Arcioni, A., Filippini, P. & Pifferi, P. G. (2000). Foliar application of selenite to potato (*Solanum tuberosum*): Effect of a ligand agent on selenium content of tubers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4749-4751.
36. Rios, J. J., Rosales, M. A., Blasco, B., Cervilla, L. M., Romero, L. & Ruiz, J. M. (2010). Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 90 (11), 1914-1919.

37. Sams, C. E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 249-254.
38. Savvas, D., Ntatsi, G. & Passam, H. C. (2008). Plant nutrition and physiological disorders in greenhouse grown tomato, pepper and eggplant. *European Journal of Plant Science & Biotechnology*, 2 (Special issue 1), 46-61.
39. Seppanen, M., Turakainen, M. & Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, 165, 311-319.
40. Sharma, R. R., Singh, D. & Pal, R. K. (2013). Synergistic influence of pre-harvest calcium sprays and postharvest hot water treatment on fruit firmness, decay, bitter pit incidence and postharvest quality of 'Royal Delicious' apples (*Malus x domestica* Borkh). *American Journal of Plant Science*, 4, 153-159.
41. Soleimani Aghdam, M., Mostofi, Y., Motallebi Azar, A. R., Fattahi Moghaddam, J. & Gasem Nejad, M. (2008). Prolonging of shelf life of kiwifruit through (*Actinidia chinensis* cv. Hayward) methyl salicylate vapor treatment. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 40, 77-84. (in Farsi)
42. Srivastava, M. K. & Dwivedi, U. N. (2000). Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science*, 158, 87-96.
43. Ruby, R., Brahmachari V. S. & Rani, R. (2001). Effect of foliar application of calcium, zinc and boron on cracking and physicochemical composition of litchi. *The Orissa Journal of Horticulture*, 29, 50-54.
44. Terry, N., Zayed, A. M., de Souza, M. P. & Tarun, A. S. (2000). Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 403-404.
45. Vamos-Vigyazo, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *CRC Critical Review in Food Science and Nutrition*, 15, 49-127.
46. Van Hoewyka, D., Takahashi, H., Inoue, E., Hess, A., Tamaoki, M. & Pilon-Smits, E.A.H. (2008). Transcriptome analyses give insights into selenium-stress responses and selenium tolerance mechanisms in arabidopsis. *Plant Physiology*, 132, 236-253.
47. Wells, M. L. & Conner P. J. (2008). Effects of foliar-applied boron on fruit retention, fruit quality, and tissue boron concentration of pecan. *HortScience*, 43(3), 696-699.
48. Wild, S. A., Corey, R. B., Layer J. G. & Voigt, G. K. (1985). *Soil and Plant Analysis for Tree Culture* (3<sup>rd</sup> ed.). (pp. 89-100.) Oxford IBLT Publishing Co., New Delhi.
49. Westwood, M. N., Kadivar, N. & Bjornsted, H. O. (1968). Differences in growth, chemical content, and fruit set among four sports of Delicious apple. *Journal of Fruit Varieties and Horticultural Digest*, 22, 72-74.
50. Winkel-Shirley, B. (2002). Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 5, 218-223.
51. Xue, T., Hartikainen, H. & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 55-61.
52. Zasoski, R. J. & Burau, R. G. (1977). A rapid nitric perchloric acid digestion method for multi-elements tissue analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8 (5), 425-436.
53. Zhao, F. J. & Shewry, P. R. (2011). Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. *Food Policy*, 36, 94-101.
54. Zhao, Y., Wu, P., Wang, Y. & Feng, H. (2013). Different approaches for selenium biofortification of pear-jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Lizao) and associated effects on fruit quality. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(2), 529-534.
55. Zheng, Y., Yang, Z. & Chen, X. (2008). Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in Chinese bayberries, strawberries and blueberries. *Journal of Food Control*, 19, 470-474.