**مجله علوم باغبانی ایران**
دوره ۴۳، شماره ۲، ۱۳۹۱ (۱۲۳-۱۱۳)

# اثر تیمار پس از برداشت آب گرم و شرایط دمای نگهداری بر میوه رسیده سبز گوجه فرنگی

**محسن حاتمی[۱]، سیامک کلانتری[۲*] و مجتبی دلشاد[۳]**
**۱، ۲، ۳، دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران**
**(تاریخ دریافت : ۸۹/۹/۲۹ - تاریخ تصویب : ۹۰/۳/۲۲)**

## چکیده

**حساسیت میوه های گوجه فرنگی به دمای پایین و خسارت سرمازدگی، انبارمانی، بازاررسانی و قابلیت فروش میوه‌ها را محدود می‌کند. در این تحقیق اثر تیمار آب گرم به عنوان یک تیمار پس از برداشت توصیه شده، بر کاهش بروز خسارت سرمازدگی و تغییر خصوصیات کیفی میوه گوجه فرنگی طی دوره انبارمانی بررسی شد. میوه‌های گوجه فرنگی در مرحله رسیده سبز برداشت و با آب گرم ۴۵ $^{\circ}C$ به مدت ۱۵ دقیقه تیمار گردیدند. سپس میوه ها به سه شرایط دمایی مختلف نگهداری شامل ۵ $^{\circ}C$، ۱۳ $^{\circ}C$ و شرایط دمایی شبیه سازی شده (SC) در محدوده زمانی بین برداشت و مصرف گوجه فرنگی توسط مصرف کننده، منتقل شدند. مدت نگهداری برای میوه ها ۴۳ روز در نظر گرفته شد. رنگ میوه، رنگیزه لیکوپن، درصد کاهش وزن، سفتی، فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز، میزان اسید آسکوربیک و خسارت سرمازدگی (CI) در مدت نگهداری، اندازه‌گیری و ارزیابی شد. در حالیکه میوه‌های گوجه-فرنگی انبار شده در دمای ۱۳ $^{\circ}C$ بصورت تقریباً طبیعی رسیدند، انبارداری در دمای ۵ $^{\circ}C$ و شرایط دمایی شبیه سازی شده (SC) در رسیدن طبیعی میوه ها اختلال ایجاد کرد. تیمار گرمایی باعث تاخیر نسبی در توسعه رنگ میوه، کم شدن درصد کاهش وزن، افزایش اسید آسکوربیک و لیکوپن، همچنین کاهش فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز شد. تیمار گرمایی همچنین اثر تعیین کننده مهمی بر کاهش بروز خسارت سرمازدگی در میوه‌های رسیده سبز داشت. نتایج نشان داد که در گوجه‌فرنگی به عنوان یک میوه فرازگرا، تیمار آب گرم و دمای نگهداری اثر مهمی بر عمر انباری و عمر قفسه ای آن داشت. این مطالعه تایید کرد که ۱۳ درجه سانتی گراد یک دمای بهینه برای نگهداری و تیمار آب گرم یک تیمار پس از برداشت مناسب برای گوجه فرنگی است.**

**واژه های کلیدی:** گوجه فرنگی، تیمار گرمایی، خسارت سرمازدگی، رسیدن، آنزیم پلی گالاکتوروناز

### مقدمه

نگهداری در دمای پایین مهمترین روش مورد استفاده به منظور حفظ محصولات برداشت شده می باشد (Wang, 1994). با این وجود نگهداری محصولات در دمای پایین، در گستره بالاتر از نقطه انجماد تا حدود ۱۰ $^{\circ}C$ می تواند سبب بروز خسارت

* نویسنده مسئول: سیامک کلانتری تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۸۷۲۱ E-mail: kalantaris@ut.ac.ir

سرمازدگی در میوه‌ها و سبزی‌ها مخصوصاً محصولات گرمسیری و نیمه‌گرمسیری شود. میوه گوجه فرنگی نیز به سرمازدگی که باعث ایجاد خسارت و نابسامانی فیزیولوژیک می‌شود، حساس است (Whitaker, 1992). خسارت سرمازدگی با رنگ گیری آهسته و غیر طبیعی، افزایش حساسیت به بیماری‌ها، شتاب در کاهش وزن و فرورفتگی سطحی مشخص می‌شود. این علائم مخصوصاً زمانی ظاهر می‌شود که میوه به دماهای بدون سرمازدگی منتقل می‌شود (Paull, 1990). گوجه‌فرنگی به عنوان یک میوه فرازگرا می‌تواند در مراحل ابتدایی رسیدن فیزیولوژیکی برداشت شود (Cantwell & Kasmire, 2002)، سپس در طی انبارداری یا حمل و نقل به بازارهای مورد نظر رسانده شود. رسیدن میوه شامل تغییرات اساسی از نظر فیزیولوژی و بیوشیمیایی است که رنگ، طعم، عطر، بافت و ارزش‌های غذایی میوه‌ها را تغییر می‌دهد (Grierson & Schuch, 1993). از آنجا که در مورد میوه‌های رسیده سبز خسارت سرمازدگی در درجه اول بر فرآیند رسیدن تاثیر می‌گذارد، این میوه ها نسبت به میوه‌های رسیده‌تر، به سرمازدگی حساستر بوده و دمای بالاتری برای نگهداری آنها پیشنهاد می‌شود (Heuvelink, 2005). در حال حاضر آگاهی مصرف‌کننده در مورد مضرات بسیاری از تیمارهای شیمیایی اعمال شده برای حفظ محصولات باغبانی افزایش یافته است. در نتیجه یک نیاز ضروری برای توسعه موثر تیمارهای فیزیکی برای کنترل آفات، بیماری‌ها و نابسامانی‌های فیزیولوژیک بوجود آمده است. از تیمارهای پس از برداشت موثر و امن در کاهش خسارت سرمازدگی در محصولات باغبانی از جمله گوجه فرنگی تیمار گرمایی است (Fallik, 2004). گرما ممکن است برای میوه و سبزی‌ها به چندین روش به کار رود اما در بیشتر موارد غوطه وری در آب ارجحترین روش است، چرا که در انتقال حرارت نسبت به هوا کارآمدتر است (Fallik, 2004). در این تحقیق برداشت میوه گوجه فرنگی در مرحله رسیده سبز و نحوه رسیدن آن در انبار مورد مطالعه قرار گرفت. بعلاوه از آن جایی که زمان بین برداشت و مصرف میوه گوجه فرنگی می‌تواند چندین هفته طول بکشد و در طی این مدت خسارت سرمازدگی در انبار و یا یخچال‌های خانگی اتفاق بیافتد، اثر تیمار گرمایی بر کاهش بروز خسارت سرمازدگی و تغییر خصوصیات کیفی میوه گوجه فرنگی نیز بررسی شد.

## مواد و روش ها

### تهیه میوه ها، اعمال تیمار گرمایی و نگهداری در سردخانه

میوه های گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Banemi) در مرحله رسیده سبز[1] از گلخانه برداشت و بلافاصله (در جعبه های پلاستیکی) به آزمایشگاه فیزیولوژی و تکنولوژی پس از برداشت منتقل شدند. انتخاب میوه‌ها بصورت ظاهری و براساس طبقه بندی USDA[2] انجام شد (Cantwell & Kasmire, 2002). پس از حذف میوه های ناسالم، ۲۱۶ عدد میوه با اندازه یکنواخت انتخاب و سپس بصورت تصادفی به دو گروه تقسیم شدند. قبل از انتقال میوه ها به سردخانه تیمار آب گرم ۴۵ $^{\circ}$C بر روی یک گروه از میوه‌ها (نیمی از میوه ها) انجام شد. به منظور انجام این تیمار و به منظور مهیا کردن آب گرم با دمای مورد نظر، از حمام آب گرم (بن ماری) استفاده شد، میوه های هر تکرار بصورت یکجا و البته جدا از تکرارهای دیگر تیمار گرمایی شدند. مدت زمان اعمال این تیمار ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد که پس از اتمام این مدت میوه ها پس از خشک شدن، سریعاً به سردخانه منتقل شدند. گروه دیگر از میوه‌ها (نیم دیگر میوه‌ها) بعنوان تیمار شاهد در دمای محیط به مدت ۱۵ دقیقه در آب غوطه ور شدند. میوه های تیمار گرمایی شده و تیمار گرمایی نشده در یکی از ۳ شرایط دمایی شامل ۵ $^{\circ}$C، ۱۳ $^{\circ}$C و شرایط شبیه سازی شده[3] در محدوده زمانی بین برداشت و مصرف بوسیله مصرف کننده، قرار گرفتند. برای انجام این شبیه سازی، میوه ها پس از ۳ روز قرارگیری در دمای اتاق (شبیه سازی مدت زمان لازم برای رسیدن

1. Mature green مرحله ابتدایی رسیدن میوه و اولین مرحله قابل برداشت است. میوه ها در این مرحله سبز هستند. بذرها درون میوه کاملاً توسعه یافته هستند و پوسته بذر سخت شده است. مواد شبه ژله ای حداقل در یکی از حفره های درون میوه بوجود آمده اند و به تدریج در درون حفره های دیگر هم بوجود می آیند. براساس توسعه رسیدن یک تا ده روز به مرحله تغییر رنگ میوه باقی مانده است.
2. United States Department of Agriculture
3. Simulated condition (SC)

میوه از محل تولید به دست مصرف کننده) به سردخانه با دمای ۵ °C (شبیه سازی زمان قرار گیری میوه در یخچال منازل) منتقل شدند. میوه های هر واحد آزمایشی در ظرف های جداگانه قرار گرفتند (تعداد کل ظرف ها ۱۸ عدد، هر ظرف حاوی ۱۲ میوه). بررسی خصوصیات کیفی هر ۱۰ روز یکبار انجام شد به این صورت که هر ۱۰ روز یکبار دو میوه از هر ظرف (حاوی میوه های یک واحد آزمایشی) انتخاب و آزمایشات کیفی مورد نظر روی آن ها صورت گرفت. مدت نگهداری برای میوه ها ۴۰ روز در نظر گرفته شد. در آخرین ۱۰ روز آزمایش (پس از ۴۰ روز) برای شبیه سازی عمر قفسه ای[1]، میوه ها به مدت سه روز در دمای اتاق قرار گرفته و سپس در پایان این سه روز دوباره آزمایشات کیفی مورد نظر انجام شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی[2] با سه تکرار به اجرا گذاشته شد. فاکتورهای این آزمایش شامل شرایط دمایی نگهداری (۵ °C، ۱۳ °C و شرایط دمایی شبیه سازی شده)، تیمار گرمایی (تیمار آب گرم ۴۵ °C شده و عدم اعمال تیمار گرمایی) و زمان نمونه برداری (هر ۱۰ روز یکبار) بود. داده های بدست آمده از آزمایش بوسیله نرم افزار SAS (Version ۹.۱) از نظر آماری آنالیز شد و آزمون چند دامنه ای دانکن به منظور مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد.

**شاخص ها و صفات اندازه گیری شده**

**رنگ**

رنگ میوه ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج مدل (Minolta CR-400) و درسه نقطه مختلف از سطح میوه ها اندازه گیری شد. پس از ثبت مقدارهای $a^*$، $b^*$ و $L^*$ میزان هیو و کروما (شاخص اشباع) طبق فرمول های زیر محاسبه گردید.

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \text{ ،} h = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

**رنگیزه لیکوپن**

محتوای لیکوپن با برخی تغییرات، با استفاده از روش Davies (1965) اندازه گیری شد. مقدار یک گرم از بافت میوه با اضافه کردن ۴ میلی لیتر هگزان از پیش سرد شده هموژن شد. سوسپانسیون بوجود آمده در دور ۱۴۰۰ g به مدت ۶ دقیقه سانتریفیوژ شد. روشناور[3] جمع شد و عمل استخراج بر روی ته مانده[4] دوباره تکرار شد.

مقدار جذب در طول موج ۴۷۳ نانومتر بوسیله اسپکتروفوتومتر خوانده شد، و غلظت لیکوپن ($\mu g.g^{-1}$ وزن بافت) با استفاده از ضریب مخصوص[5] ($\epsilon^{1\%}$) ۳۴۵۰ محاسبه شد:

محتوای لیکوپن = $(A_{473} \times v \times 10^6)/(\epsilon^{1\%} \times 100 \times m)$

در فرمول فوق v حجم کل استخراج (۸ میلی لیتر)، m وزن نمونه (۱ گرم) و $A_{۴۷۳}$ مقدار جذب در طول موج ۴۷۳ است.

**شاخص سرمازدگی**

خسارت سرمازدگی طبق روش Lu et al. (2010) و Jing et al. (2009) به صورت ظاهری و در روز دهم آزمایش ارزیابی شد. ویژگی‌های مورد نظر به منظور این ارزیابی شامل موارد زیر بود: جراحت پوستی، رسیدن و رنگ-گیری ناهمگون، فرو رفتگی، پوسیدگی، همچنین نشانگرهای بیماری مثل ظهور کلونی های قارچی. خسارت سرمازدگی در چهار سطح جداگانه به صورت زیر ثبت شد: ۰= بدون علائم سرمازدگی، ۱= جزئی (کمتر از ۲۰٪ خسارت)، ۲= متوسط (بین ۲۰ تا ۵۰٪ خسارت)، ۳= شدید (بیش از ۵۰٪ خسارت). آنگاه شاخص خسارت سرمازدگی براساس فرمول زیر محاسبه گردید که در آن N تعداد میوه ها متناسب با سطح خسارت است.

$$CI = (\sum (\text{scale} \times N))/\text{Total fruit number}$$

**درصد کاهش وزن و سفتی**

درصد کاهش وزن میوه ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید ($M_1$ = وزن اولیه، $M_2$ = وزن ثانویه ).

درصد کاهش وزن = $(M_1-M_2/M_1)\times 100$

1. Shelf life
2. Completely Randomized Design (CRD)
3. Supernatant
4. Pellet
5. Extinction coefficient

سفتی بافت میوه توسط دستگاه سفتی سنج[1] با قطر پیستون ۰/۸ سانتی متر و بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع محاسبه شد.

**آنزیم پلی گالاکتوروناز[2]**

به منظور سنجش فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز، براساس روش Gross (1982) عمل شد. مقدار ۲/۵ گرم بافت هموژن شده و pH آن به ۳ رسید، آنگاه در g ۸۰۰۰ بمدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید و روشناور برداشته شد. رسوب مجدداً با آب مقطر شستشو و پس از سانتریفیوژ، روشناور برداشت گردید. این محلول جمع آوری شده، با ۱/۲ مول کلرور سدیم با نسبت ۱:۱ مخلوط شد و pH آن به ۶ رسید، پس از سانتریفیوژ در g ۱۰۰۰۰ بمدت ۲۰ دقیقه، روشناور برداشت گردید. به ۳۵۰ میکرولیتر از بافر حاوی ۰/۲ درصد پلی گالاکترونیک اسید، ۰/۴ مول سدیم استات با pH= ۴/۴، ۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده اضافه گردید. پس از ۱۰ دقیقه انکوباسیون در $^{\circ}C$ ۳۷ واکنش با بافر برات در غلظت ۰/۱ مول و pH= ۹ متوقف شد. میزان جذب نوری در ۲۷۶ نانومتر اندازه گیری شد. با استفاده از منحنی استاندارد فعالیت آنزیم در نمونه‌ها ارزیابی گردید و بر حسب µ mol product/min/g fw بیان شد.

**اسید آسکوربیک**

محتوای اسید آسکوربیک با استفاده از روش تجزیه ای HPLC طرح شده بوسیله Lee & coates (1999) تعیین شد. ۵ گرم از بافت میوه در ۵۰ میلی لیتر اسید فسفریک با غلظت ۶ درصد هموژن شد. ml ۲۵ از عصاره فیلتر شده درون تیوب های حاوی ml ۵ متافسفوریک اسید ۲/۵ درصد قرار گرفته و به مدت ۱۰ دقیقه در g ۲۰۰۰ و دمای $^{\circ}C$ ۴ سانتریفیوژ شدند. µl ۱۰ از نمونه های فیلتر شده (فیلترهای تزریقی PTFE با قطر µm ۰/۴۵) درون یک ستون C۱۸ (طول cm ۱۵، قطر بیرونی cm ۴/۶، قطر داخلی µm ۵) که به یک ستون محافظ Hyper ODS پیوست شده بود تزریق گردید. فاز متحرک شامل mM ۲۵ $KH_2PO_4$ با pH=۳ و سرعت جریان شستشو ۱ میلی لیتر/دقیقه بود. یک تزریق µl ۱۰ برای استانداردها (۰/۱-۵۰ mg/۱۰۰ ml) و نمونه ها انجام شد. ارزیابی ها با تشخیص‌گر UV در طول موج nm ۲۴۵ انجام شد. پیک‌های خروجی ثبت و آنالیز گردید و نتایج به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم بافت خشک میوه گزارش شد.

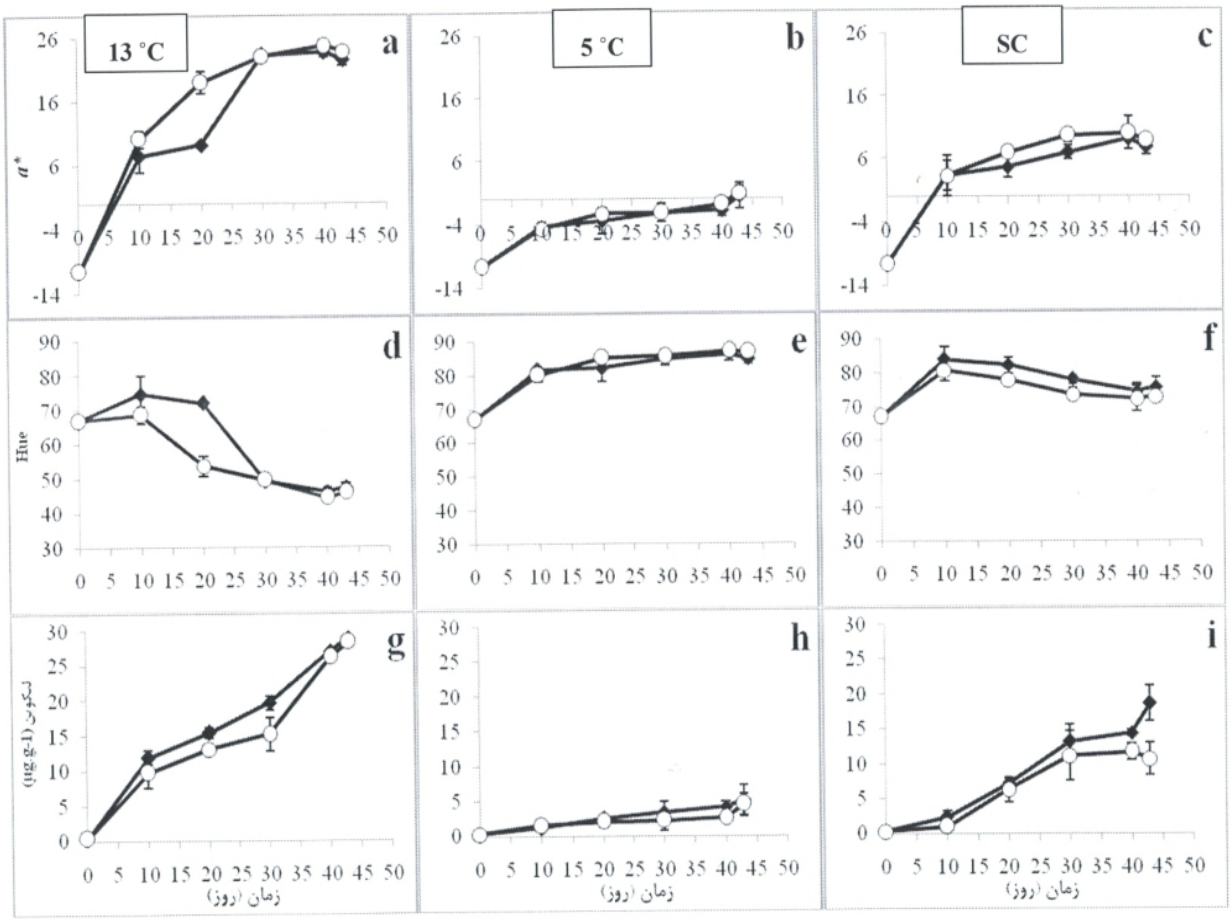
## نتایج و بحث

**رنگ**

میزان $a^*$ در ابتدای انبارداری از مقادیر منفی شروع (۱۰/۶-) و بسته به شرایط دمایی روند تغییرات آن متفاوت بود به نحوی که در دمای $^{\circ}C$ ۱۳ در پایان انبارمانی (روز ۴۰) به حدود ۲۴ و در SC به حدود ۱۰ رسید در حالیکه در دمای $^{\circ}C$ ۵ حتی به بالای صفر و مقدارهای مثبت هم نرسید (شکل ۱ a, b, c). دمای $^{\circ}C$ ۱۳ باعث رنگیری مناسب میوه ها شد اما در دمای $^{\circ}C$ ۵ رنگ گیری میوه ها ناچیز و در SC فقط در ۱۰ روز اول محسوس بود. در سه روز پایانی نگهداری یعنی پس از بیرون آوردن میوه‌ها از سردخانه، در مورد میوه‌های نگهداری شده در دمای $^{\circ}C$ ۵ افزایش $a^*$ و در دو شرایط دمایی دیگر تغییر محسوسی مشاهده نشد. $a^*$ یک پارامتر خوب برای نشان دادن توسعه رنگ قرمز و درجه رسیدگی در گوجه فرنگی است به طوریکه میزان آن با افزایش رسیدن فیزیولوژیکی افزایش می‌یابد (Batu, 2004).با توجه به تیمار گرمایی، این تیمار تا حدودی اثر بازدارنده بر توسعه رنگ قرمز داشت. یکی از موارد محسوس تر در میوه های رسیده سبز تیمار گرمایی در دمای $^{\circ}C$ ۱۳ بود که یک $a^*$ به طور معنی دار کمتر در روز ۲۰ انبارداری و Hue بیشتر بین روزهای ۱۰ تا ۲۰ نسبت به میوه‌های تیمار نشده نشان دادند (شکل ۱ a و d). تیمار گرمایی نتوانست اثر خسارت سرمازدگی بر عدم توسعه رنگ قرمز میوه های انبار شده در دمای $^{\circ}C$ ۵ و SC را جلوگیری کند. Whitaker و Lu et al. (2010) (1994) اثر بازدارندگی تیمار گرمایی بر توسعه رنگ قرمز (نشان داده شده با $a^*$ یا Hue) را به ترتیب در میوه های رسیده سبز و مرحله شکست رنگ[3] گزارش کرده‌اند. گزارشات متناقضی

1. Penetrometer
2. Polygalacturonase (PG)
3. Breaker

(Lurie & Klein, 1992; Jing et al., 2009) نیز در باب این موضوع وجود دارد. تناقض در نتایج می‌تواند ناشی از اثر دما و زمان‌های اعمال متفاوت این تیمار یا رقم های مختلف مورد استفاده باشد. نتیجه بدست آمده در این آزمایش می تواند بوسیله تفسیر بیان شده بوسیله Lu et al. (2010) تایید شود. آنها معتقدند دمای نزدیک به ۳۵ °C یا بالاتر از آن با ممانعت از سنتز اتیلن، بر فرآیند رسیدن و رنگ گیری میوه های فرازگرا تاثیر می گذارد.




شکل ۱- اثر تیمار آب گرم بر تغییرات *$a$, $Hae$ و لیکوپن میوه های گوجه فرنگی در سه شرایط دمایی مختلف. هر نقطه نشاندهنده میانگین سه تکرار می باشد( مربع های توپر نشاندهنده اعمال تیمارگرمایی و دایره های توخالی نشاندهنده عدم اعمال تیمار گرمایی است).

## رنگیزه لیکوپن

محتوای لیکوپن میوه‌ها از مقادیر بسیار ناچیز (۰/۳ µg/g) در ابتدای آزمایش شروع و با گذشت زمان انبارمانی میزان آن افزایش یافت. میزان این افزایش در دمای ۱۳ °C در مقایسه با دمای ۵ °C بسیار بیشتر و در مقایسه با شرایط شبیه سازی شده[1] (SC) قابل توجه بود (شکل ۱ g, h, i). در دمای ۵ °C سنتز لیکوپن در میوه ها بسیار ضعیف بود. نتایج مشابهی از اثر بازدارندگی دماهای کم بر سنتز لیکوپن در میوه گوجه فرنگی بوسیله سایر پژوهشگران گزارش شده است (Javanmardi & Kubota, 2006; Toor & Savage, 2006). در هر سه شرایط نگهداری، پس از بیرون آوردن میوه ها از سردخانه و انتقال به دمای اتاق (سه روز پایانی به عنوان ارزیابی عمر قفسه ای) تقریباً در اکثر تیمارها افزایش سنتز لیکوپن مشاهده شد. تشکیل

1. Simulated condition (SC)

لیکوپن در میوه گوجه‌فرنگی به دامنه دمایی بستگی دارد و به نظر می رسد که بین دمای ۱۲ تا ۳۲ درجه سانتی گراد اتفاق می افتد (Leoni, 1992).

تیمار آب گرم باعث افزایش محتوای لیکوپن در میوه‌های انبار شده در دو شرایط دمایی ۱۳ $^{\circ}C$ و SC شد. افزایش محتوای لیکوپن ناشی از اعمال تیمار گرمایی بوسیله Lurie & Klein (1992) بعد از انبارداری میوه های رسیده سبز در دمای ۱۲ $^{\circ}C$ نیز گزارش شده است.

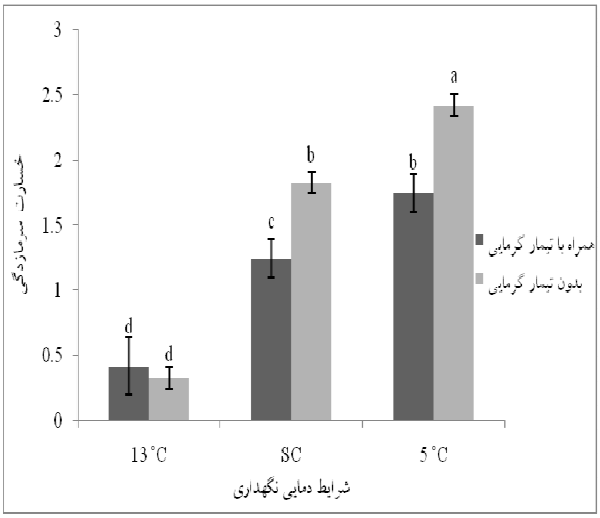
می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که تیمار گرمایی توسعه محتوای لیکوپن را در میوه‌های رسیده سبز در طی رسیدن طبیعی در دماهای بدون سرمازدگی بهبود می‌بخشد. همچنین افزایش محتوای لیکوپن در مدت سه روز ارزیابی عمر قفسه ای در میوه‌های تیمار گرمایی شده در دو دمای ۵ $^{\circ}C$ و SC مشاهده شد. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران مشاهده شده است (Hakim et al., 1997; Jing et al., 2009). سنتز لیکوپن بوسیله دماهای کم ممانعت می شود. این ممانعت دماهای کم بوسیله تیمار گرمایی قبل از انبار تقلیل می یابد و گوجه های تیمار گرمایی شده توسعه سنتز لیکوپن را خواهند داشت (Lurie & Klein, 1992).

میوه های رسیده سبز تیمار گرمایی شده در بیشتر موارد دارای محتوای لیکوپن بیشتر اما شاخص $a^*$ کمتری از میوه‌های تیمار نشده بودند. رنگیزه های دخیل در رنگ میوه گوجه فرنگی در طی رسیدگی (از رسیده سبز تا کاملاً رسیده)، تنها شامل رنگیزه لیکوپن نمی باشند و رنگیزه های دیگر از جمله کاروتن و کلروفیل نیز در آن سهم بسزایی دارند. شاخص $a^*$ دامنه رنگی بین سبز تا قرمز را نشان می دهد و از آنجایی که دمای بالا بر کلروفیل و لیکوپن بصورت متفاوتی تاثیر گذار است نتیجه بدست آمده منطقی است. یعنی ممکن است که تیمار گرمایی سبب تشکیل سریعتر لیکوپن شده باشد اما در عین حال تجزیه کلروفیل را تسریع نکرده باشد.

McDonald et al. (1999) نیز اشاره کردند اگرچه گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده در آب ۴۸ $^{\circ}C$ بالاترین نسبت رنگی (بیشترین نسبت $a^*/b^*$) را داشته اند اما آنها همچنین حاوی کلروفیل بیشتری نسبت به دیگر تیمارها بوده اند.

**شاخص سرمازدگی**

نتایج بطور کلی نشان داد که خسارت سرمازدگی در گوجه‌های انبار شده در دمای ۵ $^{\circ}C$ و SC به طور معنی داری نسبت به ۱۳ $^{\circ}C$ بیشتر بوده است (شکل ۲). در واقع علائم کمی در میوه‌های نگهداری شده در ۱۳ $^{\circ}C$ هم بعد از گذشت ۱۰ روز، هم در پایان مدت نگهداری (۴۳ روز) مشاهده شد. از آنجاییکه که بالاترین میزان خسارت مربوط به میوه های انبار شده در دمای ۵ $^{\circ}C$ بوده است می توان اینگونه نتیجه گیری کرد که دمای ۵ $^{\circ}C$ یک دمای نامناسب برای نگهداری گوجه های رسیده سبز است. تیمار گرمایی اثر معنی داری (در سطح ۱ درصد) بر کاهش خسارت سرمازدگی در میوه های رسیده سبز داشت به طوریکه در میوه های تیمار شده میزان کمتری از خسارت سرمازدگی در مقایسه با میوه های تیمار نشده پس از ۱۰ روز نگهداری مشاهده شد.




شکل ۲- اثر تیمار آب گرم بر شاخص سرمازدگی در میوه های رسیده سبز گوجه فرنگی در سه شرایط دمایی مختلف.

گزارشات مشابهی مبنی بر اثر تیمار گرمایی در کاهش خسارت سرمازدگی در میوه‌های رسیده سبز گوجه فرنگی وجود دارد (Hakim et al., 1997; Jing et al., 2009).

دلایل زیادی را می توان در توجیه علت کاهش خسارت سرمازدگی در پاسخ به تیمار گرمایی برشمرد.

تیمارهـای گرمـایی مـسیرهای بیوشـیمیایی درگیـر در رسیدن و دیگر فرایند های موجود در بسیاری از میوه ها و سبزی ها را محدود می‌کنـد (Paull & Chen, 2000). میزان تنفس و تولید اتیلن در میوه های تیمار شده بطور معنی‌داری نسبت بـه میـوه‌هـای تیمـار نـشده در مـدت انبـارداری و شـبیه سـازی عمـر قفـسه ای کمتـر اسـت (Fallik, 2004). ممانعت از تولیـد اتـیلن بوسـیله تیمـار گرمایی می‌تواند با کاهش خـسارت ناشـی از سـرمازدگی مـــرتبط باشـــد. یکـــی از علائـــم بـــارز ســـرمازدگی در گوجه‌فرنگی، ناهمگونی در رنگ گیری میوه هاست، Jing .et al (2009) گزارش کردند که بعد از ۱۹ روز نگهداری در دمای C° ۵ در میوه های تیمار گرمایی شـده تبـدیل کلروپلاست به کروموپلاست با ناپدید شدن تیلاکوئیـدها مشاهده شد و این درحالی بود که در میـوه‌هـای شـاهد، ساختارهای سلولی به شدت آسیب دید.

**درصد کاهش وزن**

با شروع انبارداری، میـزان درصـد کـاهش وزن یـک رونـد افزایـشی را بـرای تمـام تیمارهـا تـا پایـان مـدت نگهداری در پیش گرفت (شکل ۳ a, b ,c). دمای C° ۵ در بین سه شرایط نگهداری کمترین درصد کـاهش وزن را تا پایان مدت انبارمـانی (۴۰ روز) بـه خـود اختـصاص داد. کاهش وزن میوه ها در طی ۱۰ روز اول نگهداری در شرایط SC، به دلیل سه روز قرارگیری در دمای اتاق بـه طور معنی داری نـسبت بـه C° ۵ و C° ۱۳ بیـشتر بـود. یک افزایش سریع در میزان کاهش وزن نیـز در سـه روز پایـانی نگهـداری (ارزیـابی عمـر قفـسه ای) بـرای همـه تیمارها وجود داشت که می تواند ناشی از میـزان بـالای تنفس در دمای اتـاق باشـد (Javanmardi & Kubota, 2006).

میزان درصد کاهش وزن میـوه هـای گوجـه فرنگـی بوسیله تیمار گرمایی تحت تاثیر قرار گرفت (در سطح ۱ درصد). میوه های رسیده سبز تیمار گرمایی شده، در هر سه شرایط نگهداری درصد کاهش وزن کمتـری از میـوه هـای تیمـار نـشده داشـتند. تیمـار آب گـرم منجـر بـه بازپخشی لایه واکس اپی کوتیکولی و در نتیجـه کـاهش مهمی در ترک هـای کوتیکـولی مـی شـود، بنـابراین بـا گسترش موانع فیزیکی از دسـت دهـی رطوبـت کـاهش می یابد (Fallik, 2004). دلیل دیگر بـه منظـور توجیـه درصد کاهش وزن کمتر در میوه های تیمار گرمایی شده میزان تنفس کمتر در این میوه ها است (McDonald et al., 1999).

**سفتی**

در ابتدای آزمایش، میزان سفتی میوه ها ($Kg\ cm^{-2}$) ۹/۶ بود. با گذشت زمان و با نزدیک شدن به انتهای دوره انبارمانی، میوه ها نرمتر شده بـه گونـه ای کـه در پایـان دوره نگهداری به کمترین مقدار سفتی خود رسیدند.

میزان این نرم شـدگی در دمـای C° ۵ کمتـر از دو شرایط دمـایی دیگـر یعنـی C° ۱۳ و SC بـود. اینگونـه تصور می شود که نرمی نتیجـه تغییراتـی اسـت کـه در دیواره سلولی در طـی رسـیدگی اتفـاق مـی افتـد. ایـن تغییرات نتیجه فعالیت آنزیم های مختلفی است کـه بـر دیواره سلولی اثر می گذارنـد (Rugkong et al., 2010). بنابراین می توان نتیجه گرفـت کـه دمـای کـم فعالیـت آنزیم های اثر گذار بر دیواره سلولی را تغییر می‌دهد.

در میوه‌های رسیده سبز انبار شده در دمـای C° ۱۳، از روز دهم تا انتهای آزمایش میوه هـای تیمـار گرمـایی شده سفتی بیشتری نسبت به تیمار نشده ها داشتند. در دمای C° ۵ این روند برعکس بـود بـه نحـوی کـه از روز دهم به بعد میوه های تیمار گرمایی نشده اندکی سـفتی بیشتری داشتند. در شرایط SC اختلاف معنی‌داری بـین میوه های تیمار گرمایی شده و نشده وجود نداشـت. اثـر افزایشی و همچنین عدم تاثیر تیمار گرمـایی بـر سـفتی میوه های گوجه فرنگی توسط پژوهشگران دیگر گـزارش شده است (Lurie & Klein, 1992; McDonald et al., 1999). بر اساس نتایج بدست آمده بطور کلی می تـوان پیـشنهاد کـرد کـه تیمـار آب گـرم یـک تیمـار پـس از برداشت مفید، بدون تاثیر سوء قابل توجه بر سفتی میوه گوجه فرنگی می باشد.

**آنزیم پلی گالاکتورونار**

میزان اولیه فعالیت آنزیم پلی گالاکتورونار برای میوه هـای گوجـه فرنگـی (µ mol product/min/g fw) ۴/۱۴ بود. آنچه کاملاً مـشهود اسـت بـا گذشـت زمـان میـزان فعالیـت آنـزیم بـرای همـه تیمارهـا یـک رونـد افـزایش تدریجی را دنبال کرد (شکل ۳ d, e, f). مطالعات نشان می دهد که میوه های نابالغ دارای مقادیر بسیار انـدک و یا دارای فعالیت غیر قابل تشخیص این آنـزیم بـوده و بـا

رسیده تر شدن و نرم شدن میوه فعالیت این آنزیم به طور فزاینده ای افزایش می یابد (Hobson, 1981).

با مقایسه سه شرایط نگهداری متوجه می شویم که میزان فعالیت آنزیم در دمای ۱۳ °C کمتر از شرایط SC و دمای ۵ °C بوده است. گزارشات مشابهی وجود دارد به طوریکه Mostofi et al. (2003) بعد از نگهداری میوه های رسیده سبز گوجه فرنگی در سه دمای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد گزارش کردند که با افزایش دمای نگهداری، فعالیت مطلق آنزیم پلی گالاکتوروناز کاهش می یابد و این در حالی بوده است که میوه‌ها در هر سه دما به یک اندازه نرم شده بودند.

بنابراین سطوح فعالیت PG در شرایط دمایی مختلف بر فرآیند تجزیه دیواره سلولی عامل محدود کننده نیست (Mostofi et al., 2003). پلی گالاکتوروناز تنها آنزیم دخیل در کاهش سفتی میوه نیست و دیگر آنزیم ها مثل گالاکتوزیداز[1] و اندوماناناز[2] نیز دخیل هستند (Sozzi et al., 1996).

از طرفی گوجه هایی که متحمل خسارت سرمازدگی می شوند، این سرمازدگی منجر به افزایش نرمی محصول در زیر دمای امن توصیه شده می شود (Van Dijk et al., 2006).

تیمار گرمایی بر فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز تاثیر گذاشت (در سطح ۱ درصد) به گونه‌ای که میزان فعالیت آنزیم در مدت نگهداری، در میوه‌های تیمار گرمایی شده کمتر از تیمار نشده‌ها بود. این شرایط در هر سه شرایط دمایی حاکم بود.

Lurie (1998) پیشنهاد کرد که کاهش در نرمی میوه ممکن است به دلیل ممانعت از هیدرولیز پکتین در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی و همچنین ممانعت از تولید اتیلن بدلیل کاهش فعالیت آنزیم تولید کننده اتیلن[3] (EFE) باشد.

با این حال تحقیقات کمی درباره اثر تیمار آب گرم بر فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز انجام شده است. اعمال تیمار آب گرم ۴۵ °C در این آزمایش نیز با تاثیر بر پایداری آنزیم باعث کاهش فعالیت آن شده و نتیجه آن کاهش فعالیت آنزیم در میوه های تیمار شده در مقایسه با میوه های تیمار نشده بوده است.

**اسید آسکوربیک**

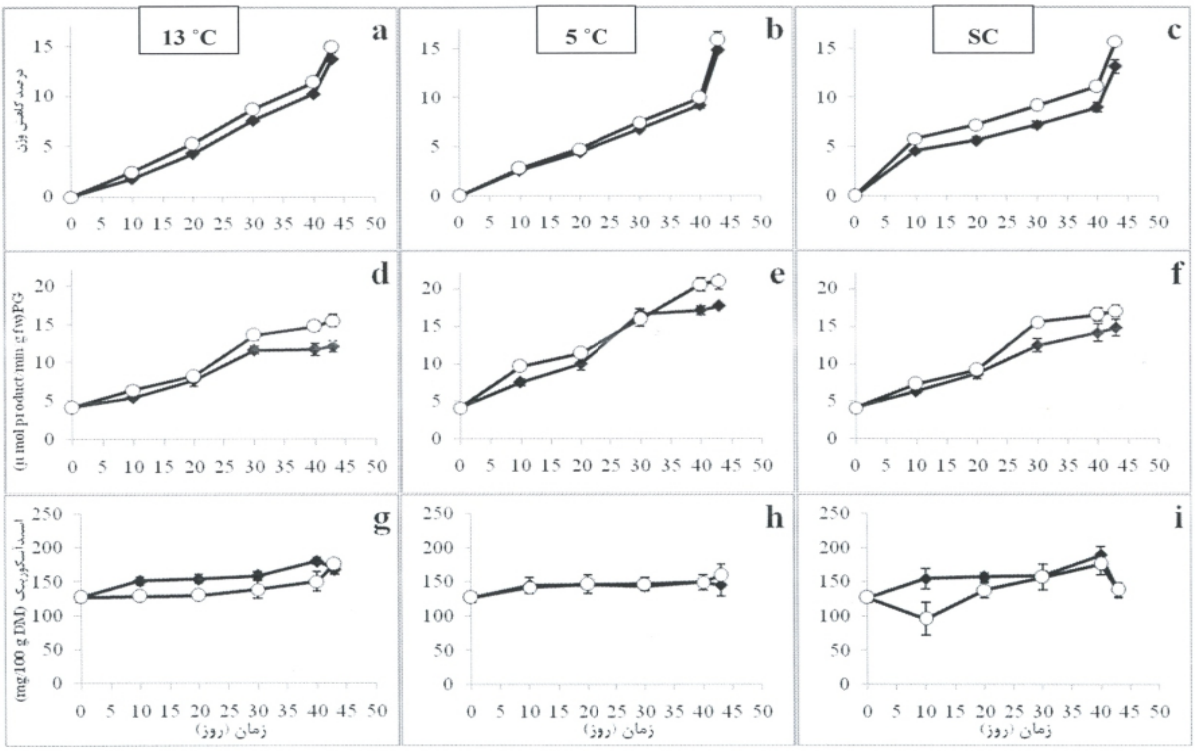
در آغاز آزمایش محتوای اسید آسکوربیک میوه ها ۱۲۶/۸ میلی گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک بود، با گذشت زمان انبارداری یک افزایش جزئی تدریجی در محتوای ویتامین ث میوه ها وجود داشت بطوریکه این روند افزایشی در دمای ۱۳ °C و SC نسبت به ۵ °C مشهودتر بود (شکل ۳ g, h, i). Giovanelli et al. (1999) و Abushita et al. (1997) نیز افزایش در محتوای اسید آسکوربیک میوه گوجه فرنگی را در طی رسیدگی گزارش کرده‌اند.

در مدت انبارداری میوه های رسیده سبز حتی در شرایط دمایی ۱۳ °C، محتوای اسید آسکوربیک به میزان قابل توجهی افزایش نیافت. در طی رسیدن میوه گوجه فرنگی، روی گیاه یا جدا از گیاه، اسید آسکوربیک در میوه تجمع پیدا می کند، اما این افزایش برای میوه هایی که روی گیاه باقی می مانند بسیار بیشتر است (Lee & Kader, 2000).

اثر تیمار گرمایی بر محتوای اسید آسکوربیک میوه ها بسته به دمای نگهداری آنها متفاوت بود. در هر دو شرایط دمایی ۱۳ °C و SC میوه‌های تیمار گرمایی شده در طول آزمایش اسید آسکوربیک بیشتری از میوه‌های تیمار گرمایی نشده داشتند در حالیکه در دمای ۵ °C تفاوت معنی‌داری بین میوه‌های تیمار گرمایی شده و نشده وجود نداشت.

اطلاعات محدودی درباره اثر تیمار گرمایی بر محتوای اسید آسکوربیک میوه‌های گوجه فرنگی موجود است. تیمار گرمایی گوجه‌فرنگی‌های رسیده سبز با هوای گرم ۳۴ °C به مدت ۲۴ ساعت قبل از انبارداری در دمای ۱۰ °C برای بیش از ۳۰ روز منجر به حداقل کاهش در محتوای آنتی‌اکسیدانی گردید (Soto-Zamora et al., 2005). البته باید گفت که اسید آسکوربیک به اکسیداسیون شیمیایی و آنزیمی در مدت فرآوری، پختن و انبارداری بسیار حساس است (Lee & Kader, 2000). با توجه به زمان کوتاه تیمار آب گرم در این تحقیق، عدم کاهش اسید آسکوربیک در میوه های گوجه فرنگی در دمای ۵ °C و SC منطقی است.

1. Galactosidase
2. Endo–mannanase
3. Ethylene-forming-enzyme (EFE) or ACC oxidase




شکل ۳- اثر تیمار آب گرم بر تغییرات درصد کاهش وزن، فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز و محتوای اسید آسکوربیک میوه های گوجه فرنگی در سه شرایط دمایی مختلف. هر نقطه نشاندهنده میانگین سه تکرار می باشد(مربع های توپر نشاندهنده اعمال تیمارگرمایی و دایره های توخالی نشاندهنده عدم اعمال تیمار گرمایی است).

## نتیجه گیری کلی

به طور کلی این مطالعه نشان داد که تیمار آب گرم و شرایط دمای نگهداری اثر مهمی بر کاهش خسارت سرمازدگی و رفتار پس از برداشت میوه های رسیده سبز گوجه فرنگی دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، برخلاف دمای ۱۳ $^{\circ}C$ که باعث رسیدن طبیعی میوه ها شد، دمای ۵ $^{\circ}C$ و شرایط شبیه سازی شده (SC) به دلیل حساسیت میوه های رسیده سبز به خسارت سرمازدگی و همچنین اثر بازدارندگی این شرایط بر فرآیند رنگ گیری این میوه ها قابل توصیه نیست. نکته قابل توصیه در این مورد، تیمار آب گرم قبل از انبارداری و یا برداشت در مراحل پیشرفته تری از رسیدن فیزیولوژیکی می باشد. از آنجایی که با توجه به نتایج به دست آمده عمر پس از برداشت طولانی تر در میوه گوجه فرنگی ناشی از دو عامل برداشت در مراحل ابتدایی رسیدگی فیزیولوژیکی و در عین نگهداری در دمای پایین است اما از طرفی این دمای کم می تواند سبب بروز خسارت سرمازدگی شود، تیمار آب گرم می تواند یک روش مفید و مقرون به صرفه به منظور کاهش این اثرات سوء باشد. مطالعات نشان می‌دهد که در میوه‌های تیمار گرمایی شده میزان تنفس نسبت به میوه‌های تیمار گرمایی نشده کمتر است در نتیجه مصرف پیش ماده‌های تنفسی نظیر کربوهیدرات‌ها و اسیدها، همچنین میزان تولید اتیلن کمتر است، بنابراین می‌توان میوه‌ای ماندگارتر با عوارض فیزیولوژیک کمتر را انتظار داشت. این مطالعه تایید کرد که ۱۳ $^{\circ}C$ یک دمای بهینه برای نگهداری و تیمار آب گرم یک تیمار پس از برداشت مناسب برای گوجه فرنگی است و به طور کلی می‌تواند به عنوان یک روش کارآمد برای حمل و نقل و انبارداری میوه های گوجه فرنگی پیشنهاد شود.

## REFERENCES

1. Abushita, A. A., Hebshi, E. A. & Daood, H. G. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60, 207–212.

2. Batu, A. (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 61, 471–475.
3. Cantwell, M. I. & Kasmire, R. F. (2002). Postharvest Handling Systems: Fruit Vegetables, In: Kader, A. A. (Ed.), Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Agriculture and Nature Resources, Davis, pp. 407–423.
4. Davies, B. H. (1965). Analysis of carotenoid pigments, In: Goodwin, T. W. (Ed.), Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments. Academic Press., New York.
5. Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology*, 32, 125–134.
6. Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C. & Nobili, S. (1999). Variation in ripening. *Journal of Science and Food Agriculture*, 79, 1583–1588.
7. Grierson, D. & Schuch, W. (1993). Control of ripening. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, 342, 241–250.
8. Gross, K. C. (1982). A rapid and sensitive spectrophotometric method for assaying polygalacturonase using 2- cyanoacetamide. *HortScience*, 17, 933-934.
9. Hakim, A., Kaukovirta, E., Pehu, E. & Voipio, I. (1997). Effect of hot water, immersion time, and length of storage on chilling injury of tomato fruit. *Journal of Vegetable Crop Production*, 3, 17–27.
10. Heuvelink, E. (2005). Tomatoes. CAB International, Wallingford, pp. 339.
11. Hobson, G. E. (1981). Enzymes and texture changes during ripening, In: Friend, J. & Rhodes, M. J. C. (Eds), Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables. Academic Press, New York.
12. Javanmardi, J. & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 151–155.
13. Jing, Y., Mao-run, F., Yu-ying, Z. & Lin-chun, M. (2009). Reduction of chilling injury and ultrastructural damage in cherry tomato fruits after hot water treatment. *Agricultural Sciences in China*, 8, 304-310.
14. Lee, H. S. & Coates, G. A. (1999). Vitamin C in frozen fresh squeezed unpasteurized polyethylene-bottled orange juice: A storage study. *Food Chemistry*, 65, 165–168.
15. 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.
16. Leoni, C. (1992). Industrial quality as influenced by crop management. *Acta Horticulturae*, 301, 177–184.
17. Lu, J., Charles, M. T., Vigneault, C., Goyette, B. & Raghavan, G. S. V. (2010). Effect of heat treatment uniformity on tomato ripening and chilling injury. *Postharvest Biology and Technology*, 56, 155–162.
18. Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Horticultural Reviews*, 22, 91–121.
19. Lurie, S. & Klein, J. D. (1992). Ripening characteristics of tomatoes stored at 12 ˚C and 2 ˚C following a prestorage heat treatment. *Scientia Horticulturae*, 51, 55–64.
20. McDonald, R. E., McCollum, T. G. & Baldwin, E. A. (1999). Temperature of hot water treatments influences tomato fruit quality following low-temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 16, 147–155.
21. Mostofi, Y., Toivonen, P. M. A., Lessani, H., Babalar, M. & Lu, C. (2003). Effects of 1-methylcyclopropene on ripening of greenhouse tomatoes at three storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 285–292.
22. Paull, R. E. (1990). Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin, In: Wang, C. Y. (Ed.), Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 17–36.
23. Paull, R. E. & Chen, N. J. (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 21, 21–38.
24. Rugkong, A., Rose, J. K. C., Lee, S. J., Giovannoni, J. J., O' Neill, M. A. & Watkins, C. B. (2010). Cell wall metabolism in cold-stored tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 57, 106–113.
25. Soto-Zamora, G., Yahia, E. M., Brecht, J. K. & Gardea, A. (2005). Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 657–663.
26. Sozzi, G. O., Cascone, O. & Fraschina, A. A. (1996). Effect of a high-temperature stress on endo-β-mannanase and α- and β-galactosidase activities during tomato fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 9, 49–63.
27. Toor, R. K. & Savage, G. P. (2006). Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 99, 724–727.
28. Van Dijk, C., Boeriu, C., Stolle-Smits, T. & Tijskens, L. M. M. (2006). The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 2. Kinetic and Near Infrared models to describe pectin degrading enzymes and firmness loss. *Journal of Food Engineering*, 77, 585–593.

29. Wang, C. Y. (1994). Chilling injury in horticultural commodities. *HortScience*, 29, 986–988.
30. Whitaker, B. D. (1992). Changes in galactolipid and phospholipid levels of tomato fruits stored at chilling and nonchilling temperatures. *Phytochemistry*, 31, 2627-2630.
31. Whitaker, B. D. (1994). A reassessment of heat treatment as a means of reducing. *Postharvest Biology and Technology*, 4, 75-83.