

## تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کیفیت و عمر نگهداری نیمه برش‌های تازه میوه هندوانه رقم کریمسون سوئیت

بشری علی بیگی<sup>۱</sup>، فروزنده سلطانی<sup>۲\*</sup> و سیامک کلانتری<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸)

### چکیده

عامل‌های مهم مدیریتی پیش از برداشت تأثیر مهمی بر عمر انبارمانی و کیفیت پس از برداشت محصولات دارد. یکی از موارد مهم در این راستا میزان آبیاری محصول است. این تحقیق به منظور بررسی تأثیر میزان آبیاری در مزرعه روی کیفیت و مدت نگهداری قطعه‌های برش خورده هندوانه رقم کریمسون سوئیت انجام شد. تیمار آبیاری در دو سطح ۱۰۰ درصد (شاهد) و ۷۵ درصد آب قابل دسترس و مدت نگهداری در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز در دمای ۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد، تیمار کم آبیاری باعث افزایش مواد جامد محلول، فنول کل، کاروتنوئید کل و کاهش سفتی بافت شد. در طی بیست روز نگهداری برش‌های تازه میوه، مواد جامد محلول، pH، شاخص طعم، سفتی، a\*، خلوص رنگ (کروما)، میزان لیکوپن و ترکیب‌های کاروتنوئیدی کاهش معنی‌داری داشتند، اما در همه این صفات به جز خلوص رنگ تفاوت معنی‌داری بین روز صفر و پنج دیده نشد؛ درحالی‌که اسید قابل عیارسنجی (تیتراسیون)، کاهش وزن، L\*، زاویه هیو و فنول کل به طور معنی‌داری افزایش یافتند. هرچند نمونه‌های تنش دیده در روزهای صفر و پنج نگهداری مواد جامد محلول بیشتری داشتند، اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های شاهد و تیمار کم آبیاری در روزهای صفر و پنج نگهداری مشاهده نشد. بنا بر این نتایج تنش کم آبیاری موجب بهبود برخی شاخص‌های کیفیت محصول و حفظ آن‌ها در مدت نگهداری شد، بنابراین آبیاری به میزان ۷۵ درصد آب قابل دسترس و ۵ روز نگهداری برای قطعه‌های نیمه برش خورده هندوانه با بیشینه حفظ کیفیت توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب قابل دسترس، خشکی، سفتی بافت، لیکوپن، مواد جامد محلول.

## Effect of different irrigation regims on quality and shelf life of half fresh cut watermelon (*Citrullus lunatus* cv. Crimson Sweet).

Boshra Alibeygi<sup>1</sup>, Forouzandeh Soltany<sup>2\*</sup> and Siamak Kalantary<sup>3</sup>

1, 2, 3. Former M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Oct. 17, 2016 - Accepted: Feb. 6, 2017)

### ABSTRACT

Important pre-harvest management factors have a massive impact on increasing storage life and post-harvest quality of produces. One of the most important factors in post-harvest management is the amount of plant irrigation. This study conducted in order to evaluate the effect of irrigation level in the field on quality and storage duration of fresh cut watermelon (Crimson Sweet cultivar). The irrigation treatment was %100 (control) and %75 of available water (AW) and storage duration treatment was in 5 stages including 0, 5, 10, 15 and 20 days in 5°C. Results showed that water stress treatment increased amount of total soluble solids (TSS), total phenols, total carotenoids and decreased texture firmness. During 20 days of storage fresh cut, TSS, pH, flavor index, firmness, a\*, chroma, lycopene and total carotenoid contents significantly decreased, but all of these traits except chroma had not significant difference between 0 and 5 days. Whereas, titratable acidity, weight loss, L\*, hue angle and total phenolic compounds increased significantly. Although, water stress increased TSS in 0 and 5 days, this was not statistically significant compared with control. According to these results, water stress treatment improved some quality parameters of produce and stability made stable in storage. So, %75AW and 5 days of storage for maximum quality of half fresh cut watermelon could be recommended.

**Keywords:** Available water, deficiency treatment, lycopene, texture firmness, total soluble solids.

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

### مقدمه

بر پایه‌ی تعریف وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA: United States Department of Agriculture) و سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA: Food and Drug Administration) قطعه‌های تازه برش خورده (Fresh cut)، میوه یا سبزی‌هایی هستند که به‌تازگی شسته شده، برش‌خورده، بسته‌بندی‌شده و در یخچال نگهداری می‌شوند و کمترین فرآوری روی آن‌ها انجام شده است. همچنین بنا بر تعریف انجمن تولیدات گیاهی (UFPA: United Fresh Produce Association) قطعه‌های برش خورده عبارت‌اند از میوه یا سبزی‌هایی که برش می‌خورند یا پوست‌کنده می‌شوند تا به‌طور ۱۰۰ درصد استفاده شوند، با این شرایط که مواد غذایی بالا، به‌راحتی استفاده شوند، تازگی و طعم مناسب نیز داشته باشند (Beaulieu & Gorny, 2002). در دهه‌های اخیر با تغییر الگوی مصرف، تمایل برای فروش و مصرف میوه‌ها و سبزی‌های بریده‌شده رو به افزایش است (Zhou *et al.*, 2006).

با رشد روزافزون مصرف سبزی‌ها و میوه‌ها، برای بهره‌وری بیشتر و کاهش ضایعات، به‌ویژه در محصولات درشت می‌توان آن‌ها را به‌صورت بریده به بازار عرضه کرد. نگهداری و انبارمانی هندوانه به علت اندازه بزرگ، داشتن آب زیاد و حساسیت به دمای پایین با محدودیت روبه‌رو است و ضایعات و فسادپذیری بالایی دارد (Ebadi, 2013). بازار فروش هندوانه به‌صورت بریده سالانه ۳۰-۲۰ درصد در حال افزایش است و ۴۶ درصد از کل هندوانه‌های تولیدشده، صرف تولید قطعه‌های بریده می‌شود (Fonseca *et al.*, 2004; Perkins & Collins, 2004). قطعه‌های بریده هندوانه به‌طور معمول به شکل نیمه و یا یک‌چهارم با پوست و یا به‌عنوان مکعب بدون پوست عرضه می‌شود (Rushing *et al.*, 2001).

در ایران کشت، تولید و فروش هندوانه از لحاظ اقتصادی بسیار اهمیت دارد، به‌طوری‌که بنابر آمار سازمان خواربار و کشاورزی (فائو)<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۴ ایران از لحاظ تولید هندوانه پس از چین رتبه دوم

جهانی و در بین محصولات مختلف رتبه اول صادرات را داشته است. در پژوهشی ضمن بررسی فناوری بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌های برش‌خورده، فرآوری مناسب، استفاده از ضدعفونی‌کننده‌های مؤثر، دمای نگهداری، بسته‌بندی مناسب و روش‌ها و راه‌های اصلی کاهش تخریب سریع مواد غذایی برش‌خورده بررسی شده است. بنا بر نتایج، بسته‌بندی میوه‌ها به‌صورت برش‌خورده سبب بهبود فرهنگ خرید و مصرف و در نهایت موجب افزایش واقعی سرانه مصرف میوه در کشور می‌شود (Kashaninejad & Sedaghat, 2013). نگهداری قطعه‌های برش خورده هندوانه در دمای ۲ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ روز باعث کاهش ناچیز مواد جامد محلول، رنگ سطحی و لیکوپین در نتیجه پیری می‌شود (Perkins & Collins, 2004). در پژوهشی مشخص شد قطعه‌های بریده هندوانه در دمای ۵ درجه سلسیوس تا ۹ روز قابلیت نگهداری با کیفیت بازاری‌پسندی دارند و هدررفت کارتنوئید و مواد فنولی به‌طور معنی‌دار رخ نداده است (Gil *et al.*, 2006). هندوانه رقم بلک دیاموند (Black diamond) در دمای ۵ درجه سلسیوس به مدت چهارده روز نگهداری شد که در این مدت میزان لیکوپین به میزان ناچیزی کاهش یافته بود (Perkins & Collins, 2006). نگهداری قطعه‌های برش خورده بدون پوست و دارای پوست هندوانه به مدت ۹ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس انجام شد. نتایج نشان داد، برداشتن پوست، پیری، از دست دادن طعم و کاهش قندهای محلول را تسریع می‌بخشد (Kyriacou *et al.*, 2013). همچنین انبارمانی قطعه‌های برش خورده برخی توده‌های هندوانه در ایران، به مدت ۳ هفته در دماهای ۱، ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس بررسی شد که بالاترین عمر انبارمانی مربوط به توده TN.93.768 به مدت ۱۴ روز به دست آمد و دمای ۴ درجه سلسیوس به‌عنوان بهترین دمای نگهداری قطعه‌های بریده هندوانه در نظر گرفته شد (Ebadi, 2013). تأثیر سطوح اسانس عصاره آویشن و سطوح آب ازنه در شرایط اتمسفر تعدیل‌یافته روی ویژگی‌های کیفی و بار میکروبی هویج تازه برش‌یافته در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ روز ارزیابی شد. در نهایت غلظت‌های بالای

می‌دهد و از منابع قند و اسیدهای آلی ذخیره‌شده استفاده می‌کند، به همین دلیل محصولات به سرعت به سمت پیری می‌روند (Beaulieu & Gorny, 2002). کاهش کیفیت در پس از برداشت در درجه اول تابع تنفس، تعرق و از دست دادن آب، تغییرپذیری رنگ آنزیمی سطح برش، پوسیدگی میکروبی، پیری و آسیب‌های رخ داده در طول آماده‌سازی، حمل‌ونقل، لمس کردن و فرآوری است (Watada et al., 1996). تلفات پس از برداشت در کیفیت عنصرهای تغذیه‌ای، به‌ویژه محتوای ویتامینی و پاداکسندگی می‌تواند با آسیب فیزیکی، ذخیره‌سازی درازمدت، دمای بالا، رطوبت نسبی کم و آسیب سرمایی در محصولات حساس به سرما افزایش یابد (Gil et al., 2006).

تأثیر رژیم‌های کمبود و بیشبود آبیاری روی کیفیت قطعه‌های بریده شلیل گوشت سفید زودرس در مدت هشت روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس بررسی شد. میزان مواد جامد محلول در تیمار کمبود آبیاری بیش از شاهد و بیشبود آبیاری بود اما طی نگهداری تغییرپذیری معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. در مدت نگهداری، قطعه‌های بریده مربوط به کمبود آبیاری ثبات بیشتری در میزان پاداکسندگی و ترکیب‌های فنولی داشتند. با توجه به کمبود آب و ضرورت صرفه‌جویی، استفاده از یک راهبرد (استراتژی) منظم کم آبیاری می‌تواند افزون بر صرفه‌جویی باعث حفظ کیفیت محصولات بریده‌شده در انبار بدون اثرگذاری منفی شود (Falagan et al., 2015). در تحقیقی دیگر تأثیر تیمار کم آبیاری بر نگهداری تکه‌های تازه برش‌خورده هلو در شرایط کنترل اتمسفر و ۵ درجه سلسیوس به مدت ۸ روز بررسی شد. بنا بر نتایج تیمار کم آبیاری موجب افزایش سفتی بافت محصول نسبت به شاهد در روز برداشت شد اما در مدت انبارمانی تفاوتی بین تیمارهای آبیاری مشاهده نشد (Falagan et al., 2013).

بنابر نتایج پژوهشی دیگر مشخص شد، میزان لیکوپن هندوانه به‌طور معنی‌داری در تیمار تنش ۷۵ درصد تبخیر و تعرق بالاتر از صد در صد تبخیر و تعرق بوده است (Leskovar et al., 2003). ۸۵ توده هندوانه در شرایط ۵۰ و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل قرار گرفتند و

تیمارها و اثر متقابل تیمارها سبب حفظ بهتر ویژگی‌های کیفی و کاهش بار میکروبی در مدت‌زمان انبارمانی شدند (Soltani, 2012). در پژوهشی پوشش‌های خوراکی تهیه‌شده از کنستانتره پروتئین آب‌پنیر و گلیسرول برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری برش‌های خربزه در دمای ۵°C به مدت ۴ هفته بررسی شد. نتایج نشان داد، استفاده از پوشش خوراکی بر پایه پروتئین آب‌پنیر می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر و جدید برای نگهداری برش‌های محصولات باغبانی در دمای سرد به شمار آید (Bahramian & Javanmard, 2010).

کیفیت میوه هندوانه ترکیبی از عامل‌های مهم تغذیه‌ای بوده که ممکن است توسط مدیریت میزان آب و شیوه‌های زراعی تحت تأثیر قرار بگیرد. میوه هندوانه محتوای کم‌کالری و یک منبع طبیعی از مواد کانی مانند پتاسیم، فسفر و منیزیم و ترکیب‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) مانند لیکوپن و اسیداسکوربیک دارد (Garcia-Alonso et al., 2004; Perkins et al., 2001). در نتیجه تنش‌ها، از جمله تنش آبیاری فرآیندهای درون‌یاخته مانند نفوذپذیری در غشا، وضعیت آب یاخته، میزان اسمولیت‌ها، وضعیت پروتئین‌ها، فعالیت پروتئین‌های گیاهی، جریان‌های یونی، انتقال و نورساخت (فتوسنتز) و در نهایت رشد و عملکرد تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Kafi et al., 2010).

با توجه به موقعیت اقلیمی ایران که بیش از نیمی از آن جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌آید و میزان بارندگی در این مناطق ۲۵۰ میلی‌لیتر یا کمتر است، تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر گیاهان شناخته می‌شود (Kafi et al., 2010). نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد، همیشه تنش خشکی بر بوته‌های هندوانه زیانبار نیست. به‌عنوان مثال تنش خشکی ملایم در مراحل پایانی رسیدن میوه موجب تغییرپذیری در سوخت‌وساز (متابولیسم) کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها شده و میزان قند میوه را بالا می‌برد. همچنین باعث افزایش اسیدهای آمینه و افزایش آبکافت (هیدرولیز) پروتئین‌ها می‌شود (Bquiennes, 1985).

پس از برداشت، میوه‌ها از منبع غذا و آب خود جدا می‌شوند، اما بافت میوه به تنفس خود ادامه

مشخص شد بالاترین میزان TSS مربوط به هندوانه‌های تیمار تنش آبی بود (Karipcin *et al.*, 2008). با توجه به اهمیت منابع آب و لزوم صرفه‌جویی و همچنین گسترش عرضه و فروش محصولات برش خورده باغبانی، در این تحقیق تأثیر مثبت احتمالی تنش کم آبیاری روی برخی فراسنجه (پارامتر)های کیفیت محصول آزمایش شد. همچنین بهترین زمان نگهداری هندوانه نیمه برش خورده با حفظ کیفیت تعیین شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار با دو عامل آبیاری در دو سطح ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس به عنوان شاهد و ۷۵ درصد آب قابل دسترس به عنوان تنش کم آبیاری و عامل مدت نگهداری در ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز طراحی شد.

بذر هندوانه رقم کریمسون سوییت از شرکت فلات تهیه و در سینی‌های کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۵۰:۵۰ درصد حجمی در اوایل اردیبهشت کشت شد. در طول مدت پرورش نشاء، گیاهان با کود کامل فوسامکو تغذیه شدند و پس از سه هفته در اواخر اردیبهشت نشاءها با ۲-۳ برگ حقیقی به زمین منتقل شدند و به فاصله ۱×۱/۵ متر کشت شدند. اعمال تنش آبیاری پس از مرحله استقرار نشاءها صورت گرفت. برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک و محاسبه تغییرپذیری آن در حدفواصل دو آبیاری از دستگاه تاپروپ (Teta probe) ساخت شرکت فیلد اسکات آمریکا) استفاده شد و متناسب با بافت خاک مزرعه که رسی-لومی بود، میزان رطوبت حجمی در نقاط ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی (PWP) و از تفاضل آن‌ها منطقه آب قابل دسترس (AW) مشخص شد. پس از این محاسبات، تیمارها بر پایه ۱۰۰ درصد میزان آب قابل دسترس به عنوان شاهد و ۷۵ درصد این دامنه رطوبتی به عنوان تنش اعمال شد.

از اوایل مردادماه برداشت میوه‌های رسیده با توجه به

صدای بم ناشی از ضربه به میوه، خشک شدن پیچک مجاور میوه و تغییر رنگ نوارهای پوست انجام شد. میوه‌های برداشت‌شده به آزمایشگاه منتقل و سطح بیرونی میوه‌ها با هیپوکلریت سدیم (۲۰۰ میکرولیتر در لیتر) ضدعفونی شد و توسط چاقوی تیز و سترون‌شده (استریل) به دو قسمت تقسیم شدند. ارزیابی صفات از جمله وزن میوه، شاخص‌های رنگ، سفتی سه ناحیه از گوشت، pH، اسید قابل عیارسنجی (تیتراسیون) و مواد جامد محلول در روز صفر که معادل روز برداشت بود انجام شد. قطعه‌ها با استفاده از ظرف‌های یک‌بارمصرف و پوشش پلی‌پروپیلن بسته‌بندی و به انبار با دمای ۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد منتقل شدند. ارزیابی صفات مورد نظر در روزهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نگهداری انجام شد.

به منظور به دست آوردن میزان تغییرپذیری وزن در انبار، وزن هر یک از قطعه‌های هندوانه بی‌درنگ پس از برش و ورود به انبار و بی‌درنگ پس از خروج از انبار اندازه‌گیری شد و میزان کاهش وزن یا از دست دادن آب محاسبه شد (Mostofi & Najafi, 2005). اندازه‌گیری رنگ سطحی بر پایه مؤلفه‌های  $a^*$  (نسبتی از رنگ قرمز به سبز)،  $b^*$  (نسبتی از رنگ زرد به آبی) و  $L^*$  (شاخص درخشندگی) با دستگاه رنگ‌سنج (Konica Minolta CR-400, Japan) انجام شد (Robertson, 1977). سپس با کمک رابطه‌ها، زاویه Hue و Chroma معرف شدت رنگ محاسبه شد (Wyszecki & Stiles, 1967). سفتی بافت میوه در سه ناحیه شامل نزدیک پوست (ناحیه ۱)، اطراف بذر (ناحیه ۲) و مغز (ناحیه ۳) با دستگاه سفتی‌سنج (Stable Microsystem, Gomaling, Surry, model TA.XT Plus, U.K.) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول، یک قطره از آب میوه همگن روی صفحه شکست‌سنج (رفرکتومتر Atago PR 100, Plainfield, NY) قرار گرفت و TSS در واحد درجه بریکس یا درصد خوانده شد. برای اندازه‌گیری pH، ۵ میلی‌لیتر از آب میوه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد و در معرض الکتروود دستگاه pH سنج (Istek DK7721, Korea) قرار گرفت. درصد اسید قابل عیارسنجی (%TA) با اندازه‌گیری میزان سود ۰/۱

بار عصاره‌گیری شد و سپس با روش میانگین ضریب جذب و میانگین طول موج جذب (Biehler *et al.*, 2010)، میانگین میزان کاروتنوئید کل (mg/kg f.w.) در طول موج ۴۵۰ نانومتر با کمک رابطه ۳ به دست آمد (Biehler *et al.*, 2010).

$$(۳) \text{ = کاروتنوئید کل}$$

$$\text{حجم محلول} \times \text{جرم مولی میانگین کاروتنوئید} \times \text{میانگین جذب در طول موج ۴۵۰ نانومتر}$$

میانگین ضریب جذب کاروتنوئید  $\times$  وزن نمونه

برای اندازه‌گیری میزان فنول کل با روش Singleton & Rossi (1965) با اندکی تغییر عمل شد. در این روش از فولین سیوکالتیو به‌عنوان معرف و اسیدگالیک به‌عنوان استاندارد استفاده شد و عصاره‌گیری با حلال اتانول ۸۰ درصد انجام شد. جذب در طول موج ۷۲۵ نانومتر خوانده و با کمک رسم منحنی استاندارد اسید گالیک و همخوانی طول موج‌های خوانده‌شده با این نمودار، میزان فنول بر پایه میلی‌گرم اسید گالیک در کیلوگرم بافت تازه گزارش شد.

### نتایج و بحث

نتایج آزمایش در قالب جدول تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده از قطعه‌های بریده‌ه‌اندوانه در شرایط تنش آبیاری و مدت نگهداری (جدول ۱) و جدول مقایسه میانگین این صفات (جدول‌های ۲ و ۳) ارائه شده است.

#### مواد جامد محلول (TSS)

نتایج نشان داد، سطوح مختلف آبیاری و مدت نگهداری به‌طور جداگانه تأثیر معنی‌داری در سطح درصد بر میزان مواد جامد محلول داشت. همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری و مدت انبارمانی در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری در میزان مواد جامد محلول ایجاد کردند (جدول ۱). در بین مقادیر آبیاری، تیمار تنش نسبت به تیمار شاهد با میزان ۹/۵۹ درصد مواد جامد محلول سطح بالاتر و معنی‌داری را داشت (جدول ۲). در مدت نگهداری مواد جامد محلول روند کاهشی داشت، اما در پنج روز نخست نگهداری کاهش معنی‌داری در میزان

نرمال اضافه شده به محلول رقیق شده آبمیوه تا رسیدن pH آن به ۸/۳-۸/۱ و با کمک رابطه ۱ بر پایه درصد اسید مالیک به‌عنوان اسید غالب به دست آمد (Mostofi & Najafi, 2005).

$$(۱) \text{ TA\% =}$$

$$\frac{\text{وزن میلی اکی والان اسید غالب} \times \text{نرمالیتة سود} \times \text{حجم سود مصرفی}}{\text{وزن نمونه تیتراشده}} \times 100$$

شاخص طعم یا کسر رسیدگی از نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل عیارسنجی به دست آمد (Valero *et al.*, 2006). برای اندازه‌گیری لیکوپن بنابر دستورکار یا پروتوکول Sadler *et al.* (1990) تغییر یافته توسط Perkins-Veazie *et al.* (2001) عمل شد و از سه حلال هگزان، اتانول و استن با نسبت ۲:۱:۱ استفاده شد. به این صورت که به ۰/۲ گرم بافت فریز شده در دمای منفی ۸۰ درجه سلسیوس، ۸ میلی‌لیتر از حلال‌های بالا اضافه شد و در آغاز درون دستگاه لرزا (شیکر) و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ انجام شد. سپس به نمونه‌ها ۱ میلی‌لیتر آب مقطر به‌منظور تشکیل دو فاز مجزا، اضافه شد که فاز بالایی شامل هگزان و لیکوپن محلول در آن بود. میزان جذب در طول موج ۵۰۳ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر، Unico uv/vis 2100 plus, USA) در برابر هگزان به‌عنوان بلانک خوانده شد و میزان لیکوپن بر پایه میلی‌گرم در کیلوگرم ماده تر با کمک رابطه ۲ به دست آمد (Fish *et al.*, 2002).

$$(۲) \text{ = لیکوپن}$$

$$\frac{\text{حجم محلول} \times \text{جرم مولی لیکوپن} \times \text{جذب در طول موج ۵۰۳ نانومتر}}{\text{ضریب جذب لیکوپن} \times \text{وزن نمونه}}$$

ضریب جذب لیکوپن  $\times$  وزن نمونه

برای اندازه‌گیری کاروتنوئید کل، عصاره‌گیری با روش Gorocica *et al.* (2007) با اندکی تغییر انجام شد. به این صورت که ۱۵-۵ گرم از نمونه با نیتروژن مایع همگن‌سازی (هموزن) شد. سپس ۵ میلی‌لیتر متانول اضافه و تکان داده (ورتکس) انجام شد. سپس فالكون‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در یخ نگهداری و آنگاه سانتریفیوژ شد. محلول به‌دست‌آمده از سانتریفیوژ با ۸ میلی‌لیتر از حلال‌های هگزان و استن با نسبت ۱:۱ دو

مواد جامد محلول در شرایط خشکی را با پدیده تنظیم اسمزی ارتباط داده‌اند که علت آن، افزایش میزان مواد محلول در عصاره گیاهی (صرفه نظر از حجم آن) است. تغییرپذیری‌ها در غلظت ساکارز، فروکتوز و گلوکز در طول فرایند تنظیم اسمزی رخ می‌دهد تا شیب اسمزی را حفظ کند (Conesa *et al.*, 2014). روند کاهش معنی‌داری در میزان مواد جامد محلول در مدت ده روز نگهداری در دمای ۲ درجه سلسیوس برای قطعه‌های برش خورده دو رقم Summer Flavor 800 و Sugar Shack هندوانه گزارش شده که فرآیندهای پیری موجب آن شده‌اند (Perkins & Collins, 2004). میزان مواد جامد محلول قطعه‌های برش خورده هندوانه در مدت هفت روز نگهداری در شرایط دمایی ۱۰ درجه سلسیوس روندی کاهشی داشته است (Mao *et al.*, 2006).

آن مشاهده نشد (شکل A-۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبیاری و مدت زمان نگهداری نشان داد، بالاترین میزان مواد جامد محلول (۱۰/۲ درصد) در روز صفر و تنش ۷۵ درصد بوده و از لحاظ آماری تفاوتی بین روزهای صفر و پنج نگهداری وجود نداشت. از لحاظ میزان، کمترین میزان مواد جامد محلول در روز بیستم و تیمار شاهد آبیاری مشاهده شد اما اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد در روز ۱۵ و ۲۰ و تیمار تنش در روز ۱۰ نبود، همچنین تفاوت معنی‌داری بین هر دو سطح آبیاری در روز ۱۰ و شاهد در روز ۱۵ دیده نشد. در کل می‌توان گفت سطح تنش ۷۵ درصد و مدت نگهداری پنج روز در بهبود و حفظ میزان مواد جامد محلول مطلوب است (شکل ۱).

یک رابطه خطی بین افزایش مواد محلول و اعمال خشکی پیش از برداشت وجود دارد. افزایش میزان

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات قطعه‌های برش خورده هندوانه در شرایط تنش آبیاری و نگهداری

Table 1. Analysis of variance traits of fresh cut of watermelon under water stress and storage

Source changes	df	Mean Squares							
		TSS	pH	TA	TSS/TA	Weight loss	L*	a*	b*
Stress	1	1.1213**	0.0013 ns	0.0001 ns	0.9120 ns	0.0040 *	0.0644 ns	1.2363 ns	0.6601 ns
Day	4	1.4813**	0.2101**	0.0029**	3594.3977**	0.2741**	127.5729**	47.9578**	6.5329 ns
t*d	2	0.3880*	0.0025 ns	0.0000 ns	62.5690 ns	0.0007 ns	1.2800 ns	4.2380 ns	3.9173 ns
Error	20	0.096	0.0018	0.0001	127.9473	0.0006	2.1772	1.7361	2.8662
CV (%)		3.2989	0.7446	10.0597	11.8017	8.453	3.5532	6.5924	10.3679

ns و \*\* و \* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

\*, \*\*, ns: Significantly differences at 5 and 1% of probability levels, and non-significantly difference, respectively.

ادامه جدول ۱. تجزیه واریانس صفات قطعه‌های برش خورده هندوانه در شرایط تنش آبیاری و نگهداری

Continued table 1. Analysis of variance traits of fresh cut of watermelon under water stress and storage

Source changes	df	Mean Squares							
		Firmness <sup>1</sup>	Firmness <sup>2</sup>	Firmness <sup>3</sup>	Chroma	Hue angle	Phenol	Lycopene	Carotenoids
Stress	1	6.2746**	3.2013*	1.1525 ns	0.1540 ns	0.0029 ns	215.4741 ns	11.5754 ns	22.2668 ns
Day	4	28.2198**	31.0049**	29.4843**	43.4865**	0.0170**	949.5416**	116.4712*	161.2593*
t*d	2	0.2721 ns	0.0800 ns	0.1921 ns	7.0072 ns	0.0014 ns	15.0291 ns	13.1995 ns	10.6659 ns
Error	20	0.7043	13.4456	0.4802	3.0842	0.0023	66.0347	27.565	38.007
CV (%)		6.0024	10.2032	4.9796	6.7908	0.0266	5.6939	14.2631	13.8004

ns و \*\* و \* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

(۱) سفتی گوشت نزدیک پوست، (۲) سفتی گوشت نزدیک بذر (۳) سفتی مغز

1) Firmness of flesh nearly skin, 2) Firmness of flesh nearly seeds, 3) Firmness of heart.

\*, \*\*, ns: Significantly differences at 5 and 1% of probability levels, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات قطعه‌های برش خورده هندوانه تحت تیمار تنش آبیاری در مقایسه با شاهد

Table 2. Mean comparison of watermelon fresh cut attribute under treatment water stress conditions compared with control

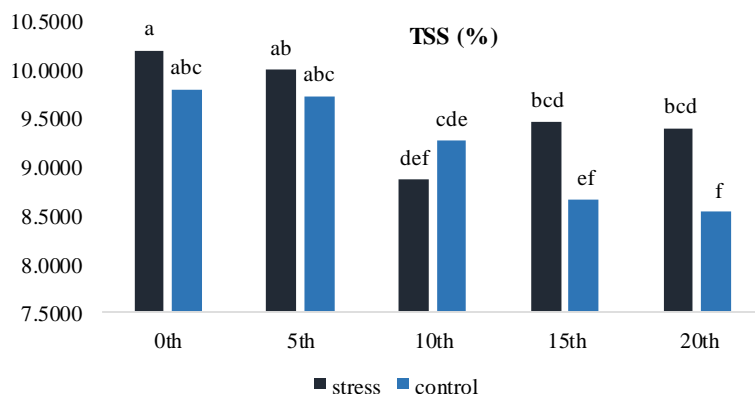
Traits / Irrigation	TSS (%)	Firmness <sup>1</sup> (N)	Firmness <sup>2</sup> (N)	Weight loss (%)
% 100	9.2000 b	14.4387 a	8.3627 a	0.2798 b
% 75	9.5867 a	13.5240 b	7.7093 b	0.3004 a

میانگین‌های با حروف مشابه داخل ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد ندارند

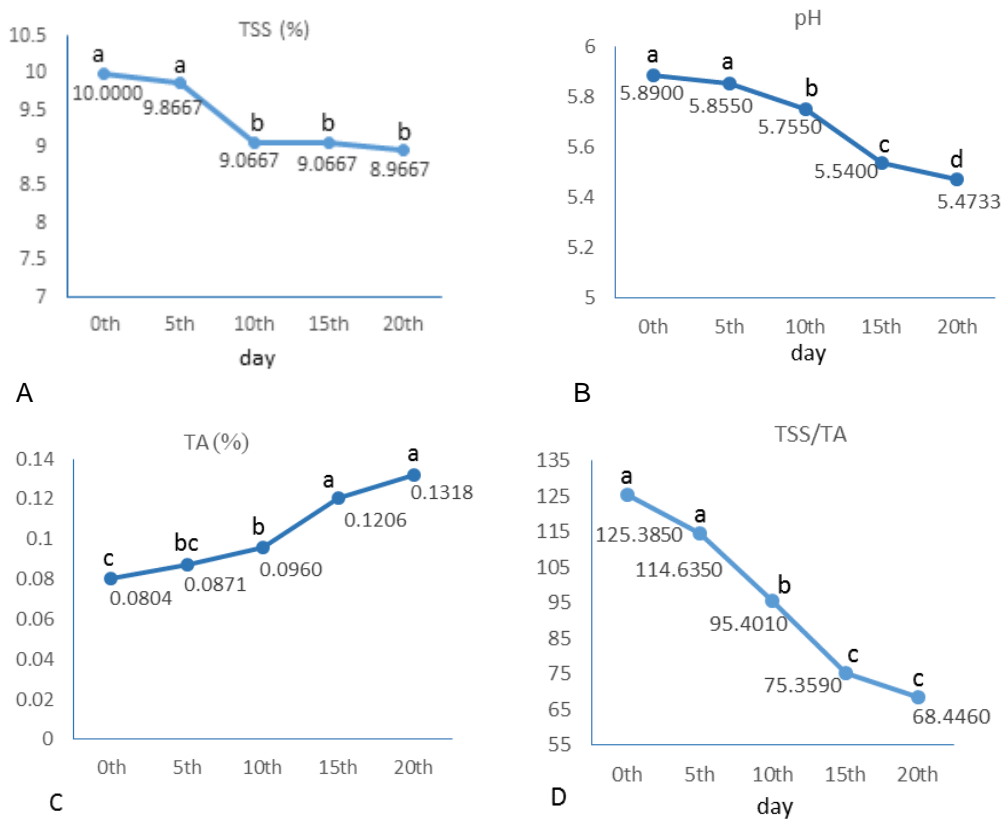
(۱) سفتی گوشت نزدیک پوست، (۲) سفتی گوشت نزدیک بذر (۳) سفتی مغز

Means followed by the same letter within a column are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ).

1) Firmness of flesh nearly skin, 2) Firmness of flesh nearly seeds, 3) Firmness of heart.



شکل ۱. اثر متقابل سطوح آبیاری و مدت نگهداری بر درصد مواد جامد محلول  
Figure 1. Interaction effects of irrigation levels and storage on TSS



شکل ۲. تغییرپذیری‌های میزان مواد جامد محلول (A)، pH (B)، اسید قابل عیارسنجی (C) و شاخص طعم (D) طی ۲۰ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس

Figure 2. Change trend on TSS (A), pH (B), TA (C) and TSS/TA (D) in 20 days storage in 5°C

آماري معنی‌داری وجود نداشت. در روزهای ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ نگهداری، کاهش pH و اسیدی شدن نمونه‌ها افزایش یافت، که این موضوع با مشاهده‌های چشمی آغاز ظهور آلودگی‌های میکروبی و پدیده ترشیدگی در قطعه‌های بریده هندوانه پس از ۱۰ روز نگهداری همخوانی داشت (شکل B-۲). در انبارمانی میوه هندوانه رقم آزاد گردهافشان بلک دیاموند (Black

## pH

تنش کم آبیاری تفاوت معنی‌داری در میزان pH قطعه‌های برش خورده هندوانه در مقایسه با شاهد ایجاد نکرد (جدول ۱). در طی مدت نگهداری میزان pH کاهش بسیار معنی‌داری یافت، بدین صورت که در روز صفر بیشترین میزان (۵/۸۹) و در روز بیست کمترین میزان (۵/۴۷) را داشت، اما بین روز صفر و پنج تفاوت

۲۰ رسید. این روند کاهشی با مصرف مواد جامد محلول در مدت نگهداری طی تنفس و افزایش مشاهده شده TA بسیار همخوانی و توجیه‌پذیری دارد.

بالاترین کیفیت طعم و میزان این شاخص، در آغاز ورود به انبار (۱۲۵/۳۸۵) مشاهده شد و تا مدت پنج روز نگهداری، افت معنی‌داری نکرد اما حداقل روز پنج تا پانزده افت شدید و معنی‌دار در طعم قطعه‌های برش خورده هندوانه مشاهده شد و به میزان ۷۵/۳۶ در روز ۱۵ رسید و پس از آن کاهش طعم معنی‌دار نبود (شکل D-۲). با توجه به این آزمایش زمان مناسب برای نگهداری قطعه‌های نیمه هندوانه با حفظ کیفیت طعم پنج روز در نظر گرفته شد.

#### سفتی

ناحیه اول: تنش کم آبیاری و همچنین مدت نگهداری تأثیر بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) روی سفتی گوشت در مجاورت پوست داشت. حال آنکه اثر متقابل آن‌ها در این صفت تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۱). در بین سطوح آبیاری، نمونه‌های مربوط به شاهد با میزان عددی (N) ۱۴/۴۳۸۷ سفتی نسبت به تنش (N) ۱۳/۵۲۴۰ در سطح معنی‌دار بالاتری قرار گرفت (جدول ۲) که این موضوع با احتساب بر خورداری بیشتر نمونه‌های شاهد از آب و ذخیره بیشتر آب و آماس (تورژانس) یاخته‌ای توجیه‌پذیر است. در مدت نگهداری سفتی بافت در کل روندی کاهشی داشت در حالی که در پنج روز نخست، کاهش معنی‌داری دیده نشد و سفتی بافت حفظ شد، ولی پس از آن کاهش معنی‌دار سفتی با شیب زیاد در روزهای ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ نگهداری مشاهده شد (جدول ۳).

ناحیه دوم: سفتی این ناحیه به دلیل حضور بذر و در پی آن سرعت فساد و تخریب بالاتر اهمیت بیشتری دارد. تیمار آبیاری در میزان سفتی این ناحیه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ایجاد کرد. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) در بین سطوح مدت نگهداری در این صفات مشاهده شد، باین وجود اثر متقابل آبیاری و مدت نگهداری معنی‌دار نبود (جدول ۱). در نمونه‌های شاهد سفتی ناحیه دوم با میزان (N) ۸/۳۶۲۷ نسبت به تنش (N) ۷/۷۰۹۳ در مرتبه بالاتری

(diamond)، نیز مشاهده شد تغییرپذیری pH بین روز صفر و چهارده انبارمانی در دمای ۵ درجه سلسیوس روند کاهشی داشته است (Perkins & Collins, 2006). اما روند افزایشی معنی‌داری در میزان pH قطعه‌های برش خورده هندوانه، در مدت ده روز نگهداری در دمای ۲ درجه سلسیوس گزارش شده است (Perkins & Collins, 2004).

#### اسید قابل عیارسنجی (TA)

میزان TA در نمونه‌های مربوط به سطح شاهد و تنش کم آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت حال آنکه افزایش مدت نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس تفاوت بسیار معنی‌داری در میزان آن ایجاد کرد (جدول ۱). میزان اسید قابل عیارسنجی در مدت نگهداری افزایش معنی‌داری یافت به طوری که در روز بیست به بیشترین میزان خود (۰/۱۳۱۸ درصد) رسید. شیب افزایش میزان TA در ۵ روز نخست نگهداری قابل توجه نبود به طوری که تفاوت آماری بین روز صفر و پنج مشاهده نشد در حالی که در روز دهم نگهداری افزایش نامطلوب قابل توجهی در میزان اسید نمونه‌ها نسبت به روز صفر مشاهده شد که این رخداد با کاهش معنی‌دار pH در روز ۱۰ و مشاهده‌های چشمی آغاز آلودگی‌های میکروبی و ترشیدگی برخی نمونه‌های هندوانه همخوانی داشت. در اواخر دوره نگهداری نیز روند افزایش TA کند بود به طوری که تفاوت معنی‌داری بین روزهای ۱۵ و ۲۰ مشاهده نشد (شکل C-۲). در نتایج تحقیقی دیگر بیان شد، هفت روز نگهداری قطعه‌های برش خورده هندوانه در دمای ۴ درجه سلسیوس موجب افزایش میزان اسید قابل عیارسنجی در نمونه‌ها نسبت به روز صفر شده است (Mao et al., 2006).

#### شاخص طعم (TSS/TA)

شاخص طعم به عنوان کسری از میزان مواد جامد محلول به اسید به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح تیمار آبیاری قرار نگرفت، در حالی که سطوح مدت نگهداری آن را در سطح ۱ درصد معنی‌داری، تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). شاخص طعم برابر انتظار در مدت نگهداری روندی کاهشی داشت و به کمترین میزان خود در روز



کاهش یافته است (Saftner *et al.*, 2007). میزان سفتی بافت قطعه‌های برش خورده هندوانه در مدت هفت روز نگهداری با دمای ۱۰ درجه سلسیوس روند کاهشی داشته است (Mao *et al.*, 2006).

### کاهش وزن

در سطح احتمال ۵ درصد، تنش کم آبیاری تفاوت معنی‌داری در میزان کاهش وزن نمونه‌ها ایجاد کرد. همچنین مدت نگهداری باعث تفاوت بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) در کاهش وزن نمونه‌ها شد، هرچند اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مدت نگهداری تفاوت معنی‌داری در نمونه‌ها نداشت (جدول ۱). تیمار تنش با ۰/۳ درصد کاهش وزن نسبت به تیمار شاهد (۰/۲۸ درصد) در سطح بالاتری قرار گرفت، به عبارت دیگر کاهش وزن نمونه‌ها به‌عنوان یک صفت نامطلوب نگهداری در نمونه‌های تنش بیشتر بود. از آنجاکه کاهش وزن با نشت آب و تبخیر و تعرق و دیواره‌های یاخته‌ای در ارتباط است، احتمال کاهش وزن بیشتر در تیمار تنش نسبت به شاهد به علت امکان آسیب‌پذیری بیشتر دیواره‌ها، محتمل و قابل پیش‌بینی است (جدول ۲).

در مدت نگهداری درصد کاهش وزن نیز روندی افزایشی داشت، چراکه نگهداری در انبار و ادامه تنفس یاخته‌ای برای قطعه‌های برش خورده نوعی تنش به شمار می‌آید. در روز نخست نگهداری هیچ کاهش وزنی وجود ندارد، اما با گذشت زمان، نشت آب و کاهش وزن رخ داد و این میزان در همه روزهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نگهداری افزایش معنی‌داری یافت به طوری که در روز بیستم به بیشترین میزان از دست دادن وزن (۰/۵۶ درصد) رسید (جدول ۳).

قرار گرفت که به دلیل برخورداری بیشتر از آب (همسان ناحیه اول) کامل قابل توجه است (جدول ۲). در مدت نگهداری سفتی این ناحیه نیز همسان ناحیه اول روندی کاهشی داشت. با اینکه سفتی ناحیه بذر نسبت به اطراف پوست کمتر است ولی همسان آن سفتی خود را در ۵ روز نخست نگهداری در بالاترین سطح حفظ کرد و پس از آن در روزهای ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ نگهداری کاهش معنی‌دار یافت و در روز بیست نگهداری به پایین‌ترین میزان خود (۵/۰۶۳۳ N) در مقایسه با روز صفر (۱۰/۴۵۳۳ N) رسید (جدول ۳).

ناحیه سوم: سطوح آبیاری نتوانستند تفاوت معنی‌داری در میزان سفتی بافت مغز ایجاد کنند، به نظر می‌رسد دلیل این موضوع اولویت ذاتی جذب آب به سمت مغز هندوانه است، در حالی که مدت نگهداری تفاوت بسیار معنی‌داری (در سطح ۰/۱) در سفتی ناحیه سوم ایجاد کرد (جدول ۱). روند تغییرپذیری سفتی مغز در مدت نگهداری همسان دیگر قسمت‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش بود و در روز بیست با میزان (N) ۱۰/۷۸ به کمترین میزان خود رسید، این وضعیت در حالی است که در پنج روز نخست، سفتی مغز به‌خوبی حفظ شد و کاهش معنی‌داری گزارش نشد (جدول ۳).

به نظر می‌رسد کاهش سفتی بافت محصول در انبار در نتیجه خروج آب، کاهش آماس یاخته‌ای و در نهایت پیری رخ می‌دهد. در تحقیقی تفاوت معنی‌داری در سفتی بافت هندوانه بین قطعه‌های برش خورده و میوه کامل در مدت ۹ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس مشاهده نشد (Gil *et al.*, 2006). صرف‌نظر از نوع تیمارها سفتی بافت نواحی اطراف بذر، پوست و مغز قطعه‌های برش خورده هندوانه در مدت نگهداری

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات قطعه‌های برش خورده هندوانه در مدت ۲۰ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس

Table 3. Mean comparison of watermelon fresh cut attribute in 20 days storage in 5°C

Traits/ day	Firmness <sup>1</sup> (N)	Firmness <sup>2</sup> (N)	Firmness <sup>3</sup> (N)	Weight loss (%)	L*	a*	Hue angle (°)
0 <sup>th</sup>	16.3333a	10.4533a	16.1700a	0.0000e	36.7767d	21.8017ab	180.6349b
5 <sup>th</sup>	15.8433a	9.9633a	15.5167a	0.2007d	37.9833d	23.2150a	180.6573b
10 <sup>th</sup>	14.0467b	8.1667b	14.5367b	0.2682c	40.3317c	20.6100b	180.6567b
15 <sup>th</sup>	12.4133c	6.5333c	12.5767c	0.4220b	45.0083b	18.1083c	180.7398a
20 <sup>th</sup>	11.2700d	5.0633d	10.7800d	0.5598a	47.5583a	16.2000d	18.7509a

میانگین‌های با حروف مشابه داخل ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد ندارند

(۱ سفتی گوشت نزدیک پوست، ۲ سفتی گوشت نزدیک بذر ۳ سفتی مغز)

Means followed by the same letter within a column are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ).

1) Firmness of flesh nearly skin, 2) Firmness of flesh nearly seeds, 3) Firmness of heart.

طول مدت نگهداری زاویه هیو روندی افزایشی داشت، به طوری که در روز بیستم به بالاترین میزان خود (۱۸۰/۷۵) رسید، ولی تفاوت معنی‌داری در روز پانزده و بیست مشاهده نشد. از لحاظ آماری زاویه هیو در ده روز نخست نگهداری افزایش قابل توجهی نداشت (جدول ۳).

میزان خلوص رنگ (کروما) که نشان‌دهنده شدت رنگ است، تحت تأثیر معنی‌دار تنش کم آبیاری قرار نگرفت اما مدت نگهداری تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح ۱ درصد در میزان آن ایجاد کرد (جدول ۱). در آغاز مدت نگهداری خلوص رنگ آغاز به افزایش کرد و در روز پنجم نگهداری به بالاترین سطح خود (۲۹/۴۲) رسید که این رخداد تحت تأثیر افزایش مؤلفه  $a^*$  در روز پنجم نگهداری روی داده است. شاخص شدت رنگ پس از روز پنجم آغاز به کاهش کرد، اما تفاوت معنی‌داری در میزان آن در روزهای صفر و ده مشاهده نشد. همچنین کاهش معنی‌داری بین روزهای ۱۰ و ۱۵ نگهداری رخ نداد در صورتی که در روز بیست به کمترین میزان خود (۲۲/۲۴) رسید. به طور کلی کاهش شدت رنگ به علت اکسایش (اکسیداسیون) و تخریب رنگدانه‌ها در شرایط نگهداری قابل توجیه است (شکل A-۳).

افزایش شاخص  $L^*$  با مشاهده‌های کم‌رنگ و روشن شدن سطح برش‌های میوه در مدت نگهداری هماهنگی داشت و احتمال می‌رود این افزایش در درخشندگی و کم‌رنگ شدن در نتیجه تخریب رنگدانه‌ها به‌ویژه لیکوپن در مدت نگهداری رخ داده باشد. در نتایج تحقیقی دیگر، افزایش مؤلفه  $L^*$  و کاهش خلوص رنگ که نشان‌دهنده روشن شدن رنگ و از دست دادن رنگ بافت است، در قطعه‌های بریده‌شده هندوانه پس از ده روز نگهداری در دمای ۲ درجه سلسیوس رخ داد (Perkins & Collins, 2004). نتایج تحقیقات نشان داده است، شاخص  $a^*$  به‌عنوان نسبت قرمزی به سبزی در طول ده روز نگهداری در دمای ۲ درجه سلسیوس کاهش معنی‌داری در قطعه‌های برش خورده هندوانه داشته است. به این بیان که قرمزی رنگ قطعه‌های برش خورده کاهش یافته است و به احتمال قوی این کاهش در نتیجه فرآیندهای پیری و اکسایش رنگدانه‌ها رخ داده است (Perkins & Collins, 2004). همچنین انبارمانی

نشت آب یک صفت نامطلوب در قطعه‌های بریده هندوانه به شمار می‌آید، چراکه به بافت، ظاهر خیس می‌دهد و یک بستر مناسب برای رشد میکروبی فراهم می‌کند (Cartaxo & Sargen, 1998). نشت آب در قطعه‌های بریده هندوانه تحت تأثیر عامل‌هایی چون اندازه قطعه‌های، دمای انبار و ترکیب اتمسفر افزایش پیدا می‌کند (Fonseca et al., 1999). به طور مثال نگهداری قطعه‌های بریده‌شده هندوانه در دمای ۱ درجه سلسیوس موجب افزایش ۵۰ درصدی نشت آب نسبت به نگهداری در دمای ۳ درجه سلسیوس می‌شود که این تفاوت در نتیجه آسیب سرمای‌ری رخ داده است (Cartaxo & Sargen, 1998).

### شاخص‌های رنگ سنجی

میزان مؤلفه  $L^*$  که بیانگر درخشندگی و شفافیت رنگ است، در نمونه‌های تیمار شاهد و تنش کم آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که تفاوت بسیار معنی‌داری در نمونه‌های تیمار مدت نگهداری داشت (جدول ۱). میزان این مؤلفه در مدت‌زمان نگهداری به طور معنی‌داری در حال افزایش بود به طوری که در پنج روز نخست تغییر معنی‌داری رخ نداد، اما با گذشت زمان افزایش قابل توجهی در روزهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مشاهده شد و در روز بیست در بالاترین سطح معنی‌داری (به میزان ۴۷/۵۶) رسید (جدول ۳).

میزان مؤلفه  $a^*$  که نسبتی از رنگ قرمز و سبز است، تحت تأثیر معنی‌دار سطوح تنش آبیاری قرار نگرفت، در حالی که سطوح مدت نگهداری تأثیر بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) روی این مؤلفه داشت (جدول ۱). در مدت پنج روز نگهداری، مؤلفه  $a^*$  افزایش اندک و غیر معنی‌داری یافت و پس از روز پنجم آغاز به کاهش کرد به طوری که میزان کاهش آن در روزهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تفاوت معنی‌دار داشت و در نهایت پس از بیست روز به کمترین میزان خود (۱۶/۲۰) رسید. کاهش این نسبت با مشاهده کم‌رنگ شدن محصول درون انبار همخوانی داشت (جدول ۳).

سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری در زاویه هیو ایجاد نکرد، اما میزان آن در بین سطوح مختلف نگهداری تفاوت بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۱). در

هندوانه رقم بلک دیاموند (Black diamond) در مدت چهارده روز در دمای ۵ درجه سلسیوس باعث مشاهده روندی کاهشی در میزان مؤلفه \*a شد (Perkins & Collins, 2006).

ساخت (سنتز) کاروتنوئیدها از جمله لیکوپن در هندوانه پس از برداشت ادامه می‌یابد و محدوده مطلوب دمایی موجب افزایش فعالیت آنزیمی و افزایش ساخت آن‌ها می‌شود (Perkins-Veazie & Collins, 2006). به همین دلیل احتمال دارد افزایش میزان رنگ قرمز در ۵ روز نخست انبارمانی به دلیل ساخت اندک کاروتنوئیدها باشد. افزایش زاویه هیو، با افزایش درخشندگی و کاهش میزان رنگدانه‌ها در مدت نگهداری همخوانی دارد. در نتایج تحقیقی دیگر روند افزایشی در میزان زاویه هیو در هندوانه‌های رقم بلک دیاموند (Black diamond) در مدت چهارده روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس مشاهده شده است (Perkins & Collins, 2006). به‌طور کلی گفته می‌شود افزایش در میزان لیکوپن به‌عنوان رنگدانه غالب در هندوانه، به‌احتمال زیاد عامل افزایش در میزان شاخص خلوص رنگ است (Perkins & Collins, 2006). برعکس این حالت، در مدت نگهداری با کاهش و تخریب میزان لیکوپن شاهد روند کاهشی شاخص خلوص رنگ نیز خواهیم بود.

از آنجاکه تولید ترکیب‌های فنولی برای سازگاری با شرایط تنش صورت می‌گیرد، بنابراین افزایش آن در شرایط پرتنش برش خوردن و نگهداری قابل توجه است (Ebadi, 2013). بنابر نتایج پژوهشی کاهش معنی‌داری در میزان فنول کل در برش‌های هندوانه پس از شش روز در دمای ۵ درجه سلسیوس مشاهده نشد (Gil et al., 2006). در تحقیقی با نتیجه همانند این آزمایش، غلظت فنول کل در قطعه‌های برش خورده هندوانه در مدت ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس روندی افزایشی داشته است (Ebadi, 2013).

### لیکوپن

تنش کم آبیاری میزان رنگدانه لیکوپن نمونه‌ها را نسبت به شاهد (۳۷/۴۳ در مقایسه با ۳۶/۱۹) افزایش داد هرچند این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. اما مدت نگهداری تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بر میزان لیکوپن نمونه‌ها ایجاد کرد (جدول ۱). بالاترین میزان لیکوپن در روز صفر بود و در ده روز نخست نگهداری میزان آن تغییر معنی‌داری نداشت. به‌عبارت‌دیگر میزان این رنگدانه پاداکسنده در مدت ۱۰ روز نگهداری حفظ شد، اما پس‌از آن با کاهش معنی‌داری به میزان ۳۴/۰۵ mg/kg f.w در روز ۱۵ رسید. کمترین میزان لیکوپن (۳۱/۹۲) مربوط به روز بیستم بود که البته تفاوت معنی‌داری بین روزهای پانزده و بیست مشاهده نشد (شکل C-۳).

لیکوپن به علت داشتن پیوندهای دوگانه مزدوج توانایی پاداکسندگی بالایی در محافظت از

ساخت (سنتز) کاروتنوئیدها از جمله لیکوپن در هندوانه پس از برداشت ادامه می‌یابد و محدوده مطلوب دمایی موجب افزایش فعالیت آنزیمی و افزایش ساخت آن‌ها می‌شود (Perkins-Veazie & Collins, 2006). به همین دلیل احتمال دارد افزایش میزان رنگ قرمز در ۵ روز نخست انبارمانی به دلیل ساخت اندک کاروتنوئیدها باشد. افزایش زاویه هیو، با افزایش درخشندگی و کاهش میزان رنگدانه‌ها در مدت نگهداری همخوانی دارد. در نتایج تحقیقی دیگر روند افزایشی در میزان زاویه هیو در هندوانه‌های رقم بلک دیاموند (Black diamond) در مدت چهارده روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس مشاهده شده است (Perkins & Collins, 2006). به‌طور کلی گفته می‌شود افزایش در میزان لیکوپن به‌عنوان رنگدانه غالب در هندوانه، به‌احتمال زیاد عامل افزایش در میزان شاخص خلوص رنگ است (Perkins & Collins, 2006). برعکس این حالت، در مدت نگهداری با کاهش و تخریب میزان لیکوپن شاهد روند کاهشی شاخص خلوص رنگ نیز خواهیم بود.

در پژوهشی پس از چهارده روز نگهداری هندوانه‌های رقم بلک دیاموند (Black diamond) در دمای ۵ درجه سلسیوس میزان خلوص رنگ نسبت به روز اول کاهش یافته است (Perkins & Collins, 2006). به‌طور کلی کاهش اندک رنگ سطحی در نگهداری قطعه‌های برش خورده هندوانه در دمای پایین، محتمل است در اثر اکسایش ناشی از برش زدن یا آسیب‌های سرمایی رخ دهد (Ebadi et al., 2012). در تحقیقی دیگر مشاهده شد، نگهداری قطعه‌های بریده دو رقم بدون بذر و بذردار هندوانه در مدت ده روز، کاهش معنی‌داری را در میزان خلوص رنگ ایجاد کرده است (Perkins & Collins, 2004).

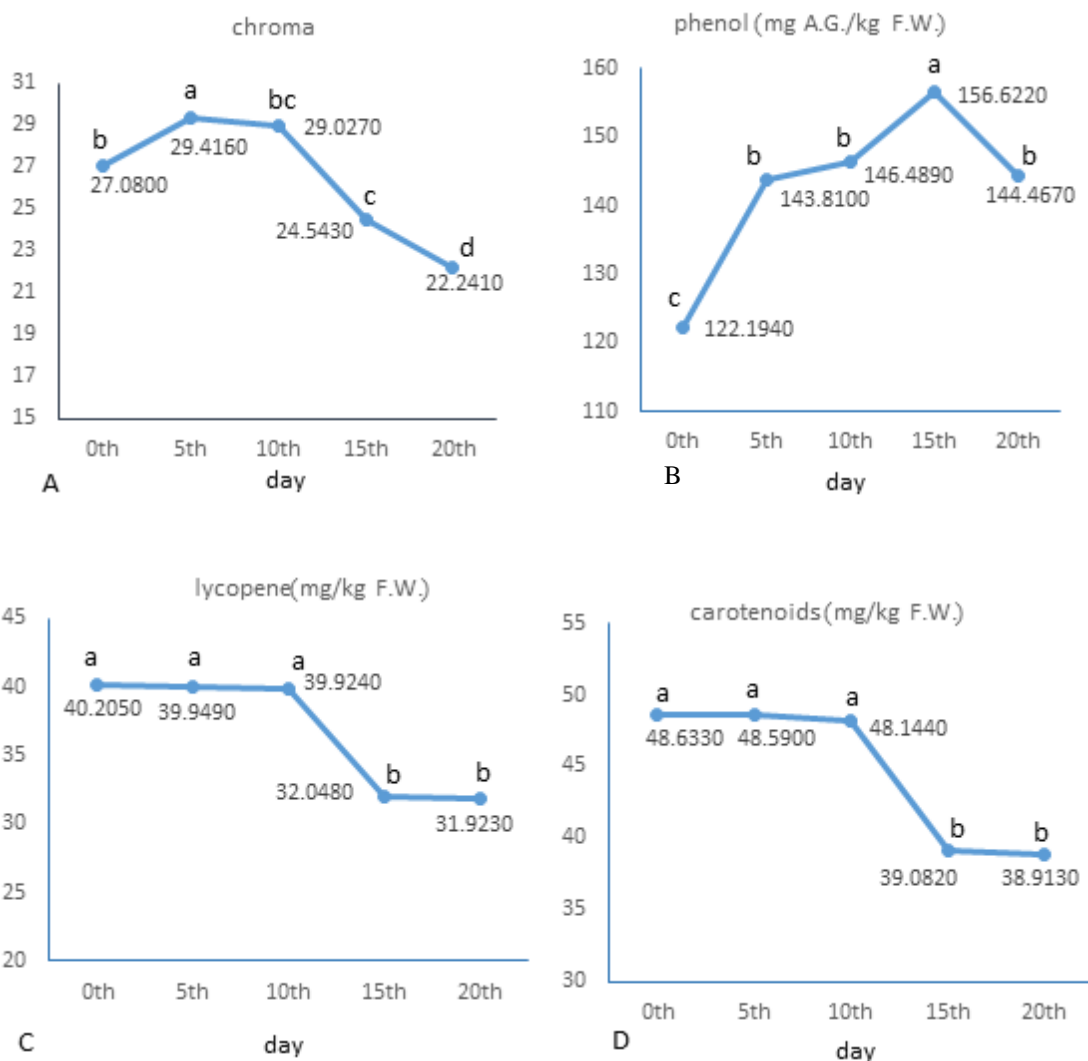
### فنول کل

تنش کم آبیاری میزان فنول کل را نسبت به شاهد

کاهش میزان لیکوپن در مدت زمان نگهداری قطعه‌های برش خورده هندوانه شوند. همچنین آسیب‌های سرمایی موجب کاهش این رنگدانه در هندوانه کامل می‌شود (Perkins & Collins, 2004).

بنابر نتایج پژوهشی در مدت چهارده روز نگهداری هندوانه رقم بلک دیاموند (Black diamond) در دمای ۵ درجه سلسیوس، میزان لیکوپن به میزان ناچیزی کاهش یافته است (Perkins & Collins, 2006). میزان لیکوپن قطعه‌های بریده شده هندوانه در دو روز نخست نگهداری تغییر معنی‌داری نکرده است حال آنکه میزان آن پس از ده روز نگهداری به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (Perkins & Collins, 2004).

زیست‌مولکول‌های حیاتی مانند DNA و پروتئین‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارد (Shi & Maguer, 2000). در شرایط فرآوری محصولات، لیکوپن از طریق اکسید شدن و همپار (ایزومر) شدن تحت تخریب قرار می‌گیرد. که در این صورت فعالیت زیستی آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تخریب لیکوپن تحت تأثیر عامل‌های مهمی چون محیط واکنش، دما، شرایط فیزیکی و شرایط محیطی است (Shi & Maguer, 2000). عامل‌هایی همچون برش زدن، نشت آب و سطح بالای کربن دی‌اکسید در محیط بسته‌بندی احتمال دارد می‌توانند موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و اکسید شدن رنگدانه‌ها و در نهایت



شکل ۳. تغییر میزان خلوص رنگ (A)، فنول (B)، لیکوپن (C) و کاروتنوئید کل (D) در مدت نگهداری.  
Figure 3. Change trend on chroma (A), phenol (B), lycopene (C) and carotenoids (D) in storage

### کاروتنوئید کل

میزان کاروتنوئید کل در نمونه‌ها تحت تأثیر معنی‌دار سطوح آبیاری واقع نشد درحالی‌که تیمار نگهداری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید نمونه‌ها داشت (جدول ۱). میزان کاروتنوئید کل در مدت نگهداری روندی همانند تغییرپذیری لیکوپن داشت. از آنجایی‌که لیکوپن کاروتنوئید عمده را در هندوانه تشکیل می‌دهد (Perkins & Collins, 2004) این همانندی تغییر قابل توجهی است. میزان کاروتنوئید کل در ده روز نخست نگهداری در بالاترین سطح معنی‌داری بود و به‌خوبی میزان آن‌ها در شرایط انبار حفظ شد اما پس از ده روز روندی کاهشی داشت، به‌طوری‌که در روز بیستم به کمترین میزان عددی خود (۳۸/۹۱) رسید که البته تفاوت معنی‌داری بین روز پانزده و بیست مشاهده نشد (شکل ۳-D).

کاروتنوئیدها به‌صورت کمپلکس در ماتریکس یاخته‌ای (شیره) وجود دارند و فرآیندهایی مانند فرآوری و برش زدن موجب شکست غشاها و آزاد شدن آن‌ها به‌ویژه لیکوپن از ماتریکس یاخته‌ای و همپارسازی (ایزومراسیون) می‌شود (Sahlin et al., 2004). از آنجایی‌که عمده میزان کاروتنوئیدها را در هندوانه لیکوپن تشکیل می‌دهد، کاهش و تغییر کاروتنوئید کل وابسته به دلایل کاهش و تخریب لیکوپن است.

نگهداری هندوانه در دمای ۵ درجه سلسیوس ممکن است باعث آسیب‌های سرمایی شود که از نخستین نشانه‌های آن از دست دادن سلامت غشا در کروموپلاست‌هاست که سبب کاهش میزان کاروتنوئیدها از جمله لیکوپن می‌شود درحالی‌که افزایش دمای انبار سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های مسیر تولید کاروتنوئیدها می‌شود و در پی آن افزایش

میزان کاروتنوئیدها رخ می‌دهد (Perkins & Collins, 2006).

در نتایجی همانند این آزمایش کاهش معنی‌داری در میزان کاروتنوئید کل در برش‌های هندوانه پس از ۶ روز در دمای ۵ درجه سلسیوس مشاهده نشد (Gil et al., 2006). میزان کاروتنوئید کل در هندوانه‌های رقم بلک دیاموند (Black diamond) پس از چهارده روز نگهداری کاهش یافته است (Perkins & Collins, 2006).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد، کاهش مصرف آب آبیاری از ۱۰۰ درصد آب قابل‌دسترس به ۷۵ درصد، باعث بهبود کیفیت محصول می‌شود به این صورت که در برخی صفات مانند مواد جامد محلول افزایش معنی‌داری ایجاد می‌کند و در برخی صفات از جمله ترکیب‌های فنولی، لیکوپن و کاروتنوئید کل بهبود اندکی به دست می‌آید. این کاهش مصرف آب در اغلب صفات میوه هندوانه تغییر یا افت معنی‌داری را ایجاد نمی‌کند. از این رو برای حفظ کیفیت محصول کاهش میزان آبیاری قابل پیشنهاد است.

از سویی دیگر نتایج نگهداری نشان داد، با گذشت زمان کیفیت قطعه‌های نیمه برش خورده هندوانه با در نظر گرفتن رخدادهای پس از برداشت و تماس مداوم پوشش بسته‌بندی با سطح محصول کاهش می‌یابد، اما در اغلب صفات تفاوت معنی‌داری در پنج روز نخست نگهداری مشاهده نشد. همچنین میزان رنگدانه‌های پاداکسنده تا ده روز نگهداری دچار کاهش معنی‌دار نشد بنابراین مدت نگهداری ۵ روز در دمای ۵ درجه سلسیوس، برای قطعه‌های نیمه برش خورده هندوانه برای حفظ بهینه کیفیت محصول توصیه می‌شود.

### REFERENCES

1. Bahramian, F. & Javanmard, M. (2010). Sustainability cuts melon coated with whey protein in cold conditions. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 5(2), 53-62. (in Farsi)
2. Beaulieu, J. C. & Gorny, J. R. (2002). Fresh-cut fruits. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*, 604.
3. Biehler, E., Mayer, F., Hoffmann, L., Krause, E. & Bohn, T. (2010). Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 75(1), 55- 61.
4. Bquienes, J. T. (1985). Genetic resource of cucurbits, *IBPGR*, F.A.O.R.

5. Cartaxo, C. B. C. & Sargent, S. A. (1998). Controlled atmosphere storage suppresses microbial growth on fresh-cut watermelon. In *Proceedings of the annual meeting of the Florida State Horticultural Society*. Central de LaCIE, Vienna, Austria. 14 pp.
6. Conesa, M. R., García-Salinas, M. D., José, M., Fernández-Trujillo, J. P., Domingo, R. & Pérez-Pastor, A. (2014). Effects of deficit irrigation applied during fruit growth period of late mandarin trees on harvest quality, cold storage and subsequent shelf-life. *Scientia Horticulturae*, 165, 344-351.
7. Ebadi, M. (2013). *Evaluation of genetic diversity of watermelon accessions (Citrullus lanatus L.) by morphological and molecular markers and study on storage life of some accessions*. M.Sc. thesis. Faculty of College of Agriculture Tehran University, Tehran.
8. Ebadi, M., Soltani, F., Mostofi, Y. & Arjmandi, M. (2012). Fresh-cut quality of watermelon during storage at different temperatures. In: *VII International Postharvest Symposium 2012* (pp. 497-502).
9. Falagán, N., Aguayo, E., Gómez, P. A., Artés-Hernández, F., Conejero, W., Otón, M. & Artés, F. (2013). Combining MAP, deficit irrigation and antibrowning treatment for keeping quality of fresh cut peaches. In: *XI International Controlled and Modified Atmosphere Research Conference 1071*, Jun., Trani, Italy, pp. 533-539.
10. Falagán, N., Artés, F., Gómez, P. A., Artés-Hernández, F., Pérez-Pastor, A., de la Rosa, J. M. & Aguayo, E. (2015). Combined effects of deficit irrigation and fresh-cut processing on quality and bioactive compounds of nectarines. *Horticultural Science (Prague)*, 42, 125-131.
11. Fish, W. W., Perkins-Veazie, P. & Collins, J. K. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), 309-317.
12. Fonseca, J. M., Rushing, J. W. & Testin, R. F. (1999). Shock and vibration forces influence the quality of fresh-cut watermelon. In *Proceedings Florida State Horticultural Society*, 112, 147-152.
13. Fonseca, J. M., Rushing, J. W. & Testin, R. F. (2004). The anaerobic compensation point for fresh-cut watermelon and implications for postprocess handling. *HortScience*, 39(3), 562-566.
14. Garcia-Alonso, M., de Pascual-Teresa, S., Santos-Buelga, C. & Rivas-Gonzalo, J. C. (2004). Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chemistry*, 84(1), 13-18.
15. Gil, M. I., Aguayo, E. & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296.
16. Gorocica-Buenfil, M. A., Fluharty, F. L., Bohn, T., Schwartz, S. J. & Loerch, S. C. (2007). Effect of low vitamin A diets with high-moisture or dry corn on marbling and adipose tissue fatty acid composition of beef steers. *Journal of Animal Science*, 85(12), 3355-3366.
17. Kafi, M., Borzoui, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masumi, A. & Nabati, J. (2010). *Physiology of environmental stress in plants*, Jahad Daneshgahi of Mashhad Publications, Pp. 345. (in Farsi)
18. Karipcin, Z., Sari, N., Kirnak, H. & Pitrat, M. (2008). Preliminary research on drought resistance of wild and domestic Turkish watermelon accessions. *Proceedings of the IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Cucurbitaceae*, Avignon (France), May 21-24th, pp. 493-499.
19. Kashaninejad, M., Sedaghat, N. (2013). Packaging technology of fresh cut fruits and vegetable. In: *2<sup>nd</sup> National Conference on Food Science and Technology*, 29-30 Apr., Islamic Azad University, Quchan, Iran, 426. (in Farsi)
20. Leskovar, D. I., Bang, H., Kolenda, K., Franco, J. A. & Perkins-Veazie, P. (2002). Deficit irrigation influences yield and lycopene content of diploid and triploid watermelon. In *XXVI International Horticultural Congress: Issues and Advances in Postharvest Horticulture 628* (pp. 147-151).
21. Mao, L., Jeong, J., Que, F. & Huber, J. D. (2006). Physiological properties of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*) in response to 1-methylcyclopropene and post-processing calcium application. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 46-53.
22. Mostofi, Y. & Najafi, F. (2005). *Laboratory analytical methods of horticultural science*. Translation, (1<sup>st</sup> ed), Institute of Tehran University Publications and Printing. Pp. 136. (in Farsi)
23. Perkins-Veazie, P. & Collins, J. K. (2004). Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), 159-166.
24. Perkins-Veazie, P. & Collins, J. K. (2006). Carotenoid changes of intact watermelons after storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 5868-5874
25. Petrou, P., Soteriou, G., Schouten, R. E. & Kyriacou, M. C. (2013). Effects of rind removal on physicochemical quality characteristics of fresh-cut watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb) Matsum & Nakai] during cold storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(2), 357-362.
26. Robertson, A. R. (1977). The CIE 1976 Color-Difference Formulae. *Color Research & Application*, 2(1), 7-11.
27. Rushing, J.W., Fonseca, J.M. & Keinath, A.P. (2001). Harvesting and postharvest handling. In: *Watermelons: Characteristics, Production, and Marketing* (edited by D. Maynard). Pp. 156-164.
28. Sadler, G., Davis, J. & Dezman, D. (1990). Rapid extraction of lycopene and  $\beta$  carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. *Journal of Food Science*, 55(5), 1460-1461.

29. Saftner, R., Luo, Y., McEvoy, J., Abbott, J. A. & Vinyard, B. (2007). Quality characteristics of fresh-cut watermelon slices from non-treated and 1-methylcyclopropene-and/or ethylene-treated whole fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 71-79.
30. Sahlin, E., Savage, G. P. & Lister, C. E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(5), 635-647.
31. Shi, J. & Maguer, M. L. (2000). Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 1-42.
32. Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
33. Soltani, I. (2012). *Effect of modified atmosphere packaging along with some antimicrobial compounds on quality and shelf life of fresh cut carrot Vilmorin cultivar*. . M.Sc.Thesis.Faculty of College of Agriculture Tehran University, Tehran.
34. Valero, D., Valverde, J. M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S. & Serrano, M. (2006). The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 317-327.
35. Watada, A. E., Ko, N. P. & Minott, D. A. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, 9(2), 115-125.
36. Wyszecski, G. & Stiles, W. S. (1967). *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulas*. Published by John Wiley and Sons. New York.
37. Zhou, B., McEvoy, J. L., Luo, Y., Saftner, R. A., Feng, H. & Beltran, T. (2006). 1-Methylcyclopropene Counteracts Ethylene-Induced Microbial Growth on Fresh-Cut Watermelon. *Journal of Food Science*, 71(6), M180-M184.