

# **The effect of staged ultraviolet C radiation on some qualitative parameters and antioxidant activity of strawberry fruits cv. Paros during storage period**

## **ABSTRACT**

This study aimed to investigate the staged application of ultraviolet C (UV-C) radiation on some qualitative and phytochemical characteristics of strawberry fruit cv. Paros during 14 days of storage at 4°C and 85-90% relative humidity. The experiment was conducted in 2022 as a factorial based on a completely randomized design with two main factors: the first being the application of UV-C radiation (including a control group without UV-C radiation, as well as single-staged, double-staged, and multi-staged UV-C radiation at an intensity of 4 kJ/m<sup>2</sup>), and the second being the storage period (0, 7, and 14 days). The results showed that at the end of the storage period, the multi-staged UV-C treatment resulted in weight loss and decay rates of 55.17% and 72.73%, respectively. This treatment also effectively preserved firmness and titratable acidity levels, outperforming the control by 148% and 64%, respectively. No significant differences in pH levels were noted among the UV-C treatments at the end of storage. Furthermore, the multi-staged UV-C treatment yielded higher vitamin C (61.65%), total phenolic content (49.44%), and antioxidant activity (22.92%) compared to the control. The single-staged UV-C treatment exhibited increases in total flavonoid and anthocyanin levels by 51% and 111%, respectively, compared to the control. While UV-C treatment reduced the L\* value, this decrease was less pronounced in the multi-staged UV-C treatment. Increases in a\* value and hue angle were observed, with the multi-staged UV-C treatment showing the greatest enhancement. Overall, the multi-staged UV-C treatment had the most substantial effect on increasing bioactive compounds and maintaining the quality of strawberries, followed by the double-staged UV-C treatment, which also demonstrated more positive effects than the single-staged treatment.

**Keywords: Decay, Firmness, Storage life, Total phenol, Anthocyanin**

## اثر تابش مرحله‌ای نور UV-C روی برخی پارامترهای کیفی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس در طول دوره انبار

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی کاربرد مرحله‌ای نور UV-C روی برخی ویژگی‌های کیفی و فیتوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی دوره انبار ۱۴ روزه در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد انجام گرفت. این آزمایش در سال ۱۴۰۱ و به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور انجام شد: فاکتور اول نور UV-C (شاهد (بدون تابش UV-C)، تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای با شدت  $4\text{kJ/m}^2$ ) و فاکتور دوم دوره انباری (صفر، ۷ و ۱۴ روز) بود. نتایج نشان داد که در پایان دوره انبارداری، میزان کاهش وزن و پوسیدگی در تیمار تابش چند مرحله‌ای UV-C به ترتیب ۵۵/۱۷ درصد و ۲۲/۷۳ بود. همچنین، این تیمار توانست سفتی و مقدار اسیدیتته قابل تیتراسیون را به ترتیب ۱۴۸ و ۶۴ درصد بهتر از تیمار شاهد حفظ کند. بین میزان پی‌اچ تیمارهای UV-C در پایان انبارداری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. علاوه بر این، در پایان دوره انبارداری تیمار چند مرحله‌ای UV-C مقدار ویتامین ث (۶۱/۶۵ درصد)، محتوای فنل کل (۴۹/۴۴ درصد) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۲۲/۹۲ درصد) بیشتری نسبت به تیمار شاهد نشان داد. در تیمار تابش تک مرحله‌ای UV-C میزان محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین کل به ترتیب ۵۱ و ۱۱۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد در پایان انبارداری بود. تابش UV-C سبب کاهش مقدار  $L^*$  شد اما این کاهش در تیمار چند مرحله‌ای کمتر بود. همچنین افزایش میزان  $a^*$  و زاویه هیو تحت تیمار UV-C مشاهده شد که میزان این افزایش در تیمار چند مرحله‌ای بالاتر از سایر تیمارها بود. در مجموع، تابش چند مرحله‌ای UV-C بیشترین تأثیر را در افزایش ترکیب‌های زیست‌فعال و حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی نشان داد و پس از آن تیمار دو مرحله‌ای UV-C اثرات مثبت بیشتری نسبت به تیمار تک مرحله‌ای نشان داد.

کلیدواژه‌ها: پوسیدگی، سفتی، انبارمانی، فنل کل، آنتوسیانین

## مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) به دلیل رنگ جذاب، طعم خوشمزه و ارزش غذایی بالا، میوه‌ای بسیار محبوب و سرشار از ویتامین‌های C، E، تیامین، ریوفلاوین و نیاسین و همچنین اسیدهای آمینه، مواد معدنی، فنل‌ها، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌باشد در مجموع، این ترکیبات زیست فعال فعالیت‌های هم‌افزایی روی ارتقاء سلامت انسان و پیشگیری از چندین بیماری مزمن، از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت و سرطان دارند (Khodaei *et al.*, 2021). پاروس یکی از مهم‌ترین ارقام توت‌فرنگی روز کوتاه است که برای بازار میوه تازه مناسب می‌باشد. این رقم از تلاقی دو رقم مارمولادا<sup>۱</sup> و ایروین<sup>۲</sup> در متاپونتو (ماترا)، ایتالیا، در سال ۱۹۸۹ به دست آمد (Rostami *et al.*, 2022). با این حال، به دلیل عدم وجود پوست و مقاومت کم دیواره سلولی، آسیب مکانیکی و آلودگی پاتوژن قارچی دو علت اصلی برای ایجاد پوسیدگی و فساد پس از برداشت توت‌فرنگی می‌باشند که کیفیت و ارزش تجاری آن را تا بالای ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Lin *et al.*, 2021; Quarshi *et al.*, 2023). علاوه بر این، فعالیت متابولیکی و تنفس بالای توت‌فرنگی تازه به‌طور معنی‌داری پیشرفت پوسیدگی را تسریع کرده و شدت فساد را تشدید می‌کند (Sousa-Gallagher *et al.*, 2013).

ماندگاری توت‌فرنگی بسته به نوع رقم متفاوت می‌باشد؛ به همین دلیل، صنعت مواد غذایی در جستجوی مداوم برای تیمارهای نوآورانه و سودآور پس از برداشتی است که منجر به افزایش ماندگاری توت‌فرنگی شوند (Zhou *et al.*, 2018). استفاده از نور UV-C یک فناوری نوظهور فیزیکی می‌باشد که علاوه بر خاصیت ضد میکروبی، سبب القای تنش ضعیف و در نتیجه تجمع فیتوالکسین‌ها، تحریک مکانیسم‌های دفاعی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود که این تغییرات منجر به حفظ کیفیت محصول می‌شود (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2021). علاوه بر اثر ضد میکروبی مستقیم، UV-C همچنین از طریق افزایش تولید آنزیم‌های مرتبط با تنش، یک سیستم دفاعی گیاهی را ایجاد می‌کند (W. Zhang *et al.*, 2021). در سال‌های اخیر مزایای کاربرد دیودهای ساطع کننده نور (LED) فرابنفش مانند صرفه‌جویی در انرژی، اندازه کوچک، عدم آسیب به چشم‌ها و پوست انسان، دستکاری راحت طیف فرابنفش و عدم تولید باقیمانده جیوه سبب افزایش علاقه‌مندی به استفاده از آن‌ها در طول انبارمانی پس از برداشت شده است (Wargent, 2016).

## پیشینه پژوهش

تابش مصنوعی غیر یونیزان UV-C یک تکنولوژی نوظهور غیرحرارتی مقرون‌به‌صرفه محسوب می‌شود که می‌تواند در طول انبارمانی سبب تأخیر در رسیدگی، پیری و پوسیدگی پس از برداشت گونه‌های مختلف میوه و سبزی شود. پرتو UV-C عمدتاً به عنوان یک تیمار سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا فقط به ۳۰-۵ میکرون از یک بافت نفوذ می‌کند و به منظور حفظ یکپارچگی و طراوت میوه‌ها و سبزی‌ها به کار می‌رود. تیمار پس از برداشت تابش UV-C در دوزهای پایین، عمر پس از برداشت محصولات باغبانی را افزایش داده و کیفیت آن‌ها را با تأخیر در رسیدگی میوه و پیری حفظ می‌کند، در حالی که در دوزهای بالا اثرات زیان‌آوری را ایجاد می‌کند (González-Aguilar, Zavaleta-Gatica, *et al.*, 2007; Lichtscheidl-Schultz, 1985). در دهه‌های اخیر، توجه بیشتری بر اثر نور فرابنفش روی حفظ کیفیت پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها معطوف شده است. مطالعات زیادی روی اثر نور UV-C روی بهبود کیفیت و کنترل پوسیدگی پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌های مختلف انجام شده است که از آن جمله می‌توان به کاربرد آن در کلم بروکلی (Formica-Oliveira *et al.*, 2017)، انگور (Maurer *et al.*, 2017)، زردآلو (Hakguder Taze & Unluturk, 2018) و آناناس (Sari *et al.*, 2016) اشاره کرد. تابش UV-C فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد که سبب افزایش فنل‌ها و فلاونوئیدها در گوآوا و موز در طول انبارمانی پس از ۳۰ دقیقه تحت تیمار UV-C شده است (Alothman *et al.*, 2009a, 2009b). تیمار UV-C از طریق

<sup>۱</sup> Marmolada@Onebor

<sup>۲</sup> Irvine

افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی گلوتاتیون (*GSH*) و ترکیبات فنلی، پوسیدگی توت‌فرنگی انبارمانی شده در ۱۰ درجه سلسیوس را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Erkan *et al.*, 2008). پرتوتابی UV-C هم‌چنین با افزایش سطوح آنتی‌اکسیدانی، پوسیدگی ناشی از رسیدگی بیش‌ازحد زغال‌اخته را کاهش می‌دهد (Perkins-Veazie *et al.*, 2008). افزایش معنی‌داری در محتوای فلاونوئیدها و فنل کل در میوه نارنگی تحت تیمار با ۱/۵ و ۳ کیلوژول بر مترمربع UV-C و انبارمانی سه روز مشاهده شد (Shen *et al.*, 2013). این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که دوزهای پایین و غیر کشنده UV-C سبب القاء سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان پاسخ ثانویه به تنش‌های محیطی می‌شوند که منجر به طولانی کردن عمر پس از برداشت و خصوصیات کیفی طیف وسیعی از میوه‌ها می‌شود. گزارش شده است که افزایش ناگهانی سطح ROS درون سلولی مربوط به اختلال در تعادل بین تولید و پاکسازی ROS، تحت تأثیر تنش‌های غیر زیستی مختلف از جمله زخم، شوری، تابش فرابنفش، خشکی، فلزات سنگین، دمای بالا، کمبودهای تغذیه‌ای و آلودگی هوا ایجاد می‌شود (Gill & Tuteja, 2010; Becerra-Moreno *et al.*, 2015). فرض بر این است که تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS<sup>۱</sup>) حاصل از تیمار UV-C ممکن است در افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی دخیل باشد (Cisneros-Zevallos *et al.*, 2015; Petrov *et al.*, 2014). رادیکال سوپراکسید (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) به عنوان یک ROS اولیه باعث ایجاد یک آبشار واکنش شیمیایی می‌شود که منجر به تشکیل ROSهای مختلف شده و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند پلی‌فنل‌ها را از طریق فاکتورهای رونویسی MYB تحریک می‌کند. با این وجود، هنوز مشخص نیست که آیا تابش UV-C آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز را از طریق مکانیسم واسطه ROS در میوه‌ها افزایش می‌دهد یا خیر (Rabelo *et al.*, 2020).

عوامل متعددی از جمله مرحله بلوغ، نوع محصول، رقم و شدت تابش اثربخشی تیمارهای تابش UV-C را تعیین می‌کنند (Bravo *et al.*, 2012). اگرچه استفاده از نور UV-C قبل از انبارمانی و اثرات آن روی خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی در تحقیقات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است (M. Li *et al.*, 2019; Gumedde *et al.*, 2020; Darvishi *et al.*, 2012; Amiri *et al.*, 2021)، اما اثرات الگوهای مختلف قرارگیری در معرض تابش UV-C در طول دوره انباری به ندرت بررسی شده است. بنابراین، مطالعه پاسخ میوه به الگوهای مختلف تابش برای فهم بهتر اثرات فیزیولوژیکی تیمارهای فتوشیمیایی پس از برداشت بسیار مهم است. لذا در پژوهش حاضر به ارزیابی کاربرد مرحله‌ای تابش UV-C روی خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس در طول انبارمانی پرداخته شد. امید است یافته‌های این پژوهش درک مناسبی از بهبود کیفیت میوه توت‌فرنگی تحت اعمال تیمارهای UV-C مرحله‌ای در مقایسه با کاربرد قبل از انبار این میوه ارائه بدهد.

## روش‌شناسی پژوهش

### مواد آزمایشی

میوه‌های توت‌فرنگی رقم پاروس در سال ۱۴۰۱ و در مرحله‌ی بلوغ تجاری (با ۸۰ درصد رنگ قرمز در سطح میوه) از مزرعه مورد تأیید مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان در روستای لاین صبح زود برداشت شدند. میوه‌ها بلافاصله در ظروف کوچک به عمق ۱۰ سانتیمتر به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا منتقل شده و در این مکان میوه‌های سالم و یکنواخت از لحاظ اندازه و وزن انتخاب و پس از شستشو با آب مقطر در مجاورت هوا خشک گردیدند و سپس جهت اعمال تیمارهای مختلف تابش UV-C مورد استفاده قرار گرفتند.

### تیمار پس از برداشت UV-C

به منظور اعمال تیمار UV-C از اتاکی که برای این کار تهیه شده بود استفاده گردید. این اتاکی مجهز به سه عدد منبع نوری (۳۰

<sup>۱</sup> Reactive Oxygen Species

وات، با طول ۹۰ سانتی‌متر، مدل اُسرام<sup>۱</sup>، ژاپن و پیک طول موج ۲۵۴ نانومتر) بود که در قسمت بالای اتاقک نصب شده بودند. دیواره های این اتاقک با فویل آلومینیوم به منظور ایجاد تمرکز هرچه بیشتر نور پوشیده شد و فاصله محل قرارگیری نمونه تا لامپ به طور ثابت ۲۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری شدت تابش از دستگاه UV-رادیومتر (مدل لوترون<sup>۲</sup>، تایوان) استفاده شد. با تغییر در مدت زمان تابش، شدت‌های تابش ۱، ۲ و ۴ کیلوژول بر مترمربع (kJ/m<sup>2</sup>) محاسبه شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور، فاکتور اول سطوح تیماری در چهار سطح (شاهد (بدون تابش UV-C)، تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای با شدت ۴ kJ/m<sup>2</sup>) و فاکتور دوم زمان انباری در سه سطح (صفر، ۷ و ۱۴ روز) با سه تکرار انجام شد. میوه‌های شاهد (بدون تابش UV-C) بدون اعمال تیمار UV-C در داخل ظروف یکبار مصرف مخصوص قرار گرفته و به داخل سردخانه منتقل گردیدند. جهت اعمال تیمار پرتو UV-C تک‌مرحله‌ای در روز صفر یعنی قبل از شروع انبارمانی ابتدا میوه‌ها تحت تیمار ۴ کیلوژول بر مترمربع تابش UV-C قرار گرفتند؛ که این دوز از تابش با قرار دادن میوه‌ها به مدت ۴۳۶ ثانیه در زیر لامپ‌های موردنظر بدست آمد و جهت اعمال هرچه بهتر تیمار این مدت زمان به صورت ۲۱۸ ثانیه یک طرف میوه‌ها و ۲۱۸ ثانیه بعدی طرف دیگر میوه‌ها مورد استفاده قرار گرفت و سپس میوه‌ها در داخل ظروف یکبار مصرف مخصوص به داخل سردخانه منتقل شدند. تیمار پرتو UV-C دومرحله‌ای به این صورت اعمال گردید که میوه‌های توت‌فرنگی مربوط به این تیمار در روزهای صفر و ۴ انبارمانی تحت شدت ۲ کیلوژول بر مترمربع تابش UV-C قرار گرفتند و این میزان دوز (۲ کیلوژول بر مترمربع) برای هر روز ۲۱۸ ثانیه بود که برای اعمال روی دو طرف میوه، ۱۰۹ ثانیه روی هر طرف میوه‌ها اعمال شد و پس از تیماردهی، مجدد میوه‌ها به داخل سردخانه منتقل شدند. تیمار پرتو UV-C چندمرحله‌ای نیز با اعمال شدت ۱ کیلوژول بر مترمربع UV-C در روزهای صفر، ۲، ۴ و ۶ انبارمانی انجام شد؛ که جهت اعمال این میزان دوز (۱ کیلوژول بر مترمربع) مدت زمان ۱۰۹ ثانیه در روزهای تیماردهی در نظر گرفته شد و برای تیمار روی هر دو طرف میوه‌ها زمان ۵۴/۵ ثانیه استفاده شد. تیماردهی تابش پرتو UV-C در روز ۶ انبارمانی صبح زود انجام گرفت و نمونه‌برداری مربوط به روز ۷ انبارمانی برای سنجش صفات در غروب روز بعد صورت گرفت تا اثر تیمار UV-C در این روز به درستی موردبررسی قرار گیرد. سپس برای بررسی دقیق‌تر اثر تابش UV-C روی خصوصیات کیفی و ترکیبات زیست فعال توت‌فرنگی رقم پاروس، میوه‌ها تا روز ۱۴ انبارمانی در داخل سردخانه نگهداری شدند. پس از اتمام تیماردهی، میوه‌ها در ظروف پلاستیکی یکبار مصرف بسته‌بندی شدند و برای هر تکرار ۱۰ عدد میوه در هر ظرف قرار داده شد و سپس این ظرف‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد در تاریکی به مدت ۱۴ روز نگهداری شدند. نمونه‌برداری جهت سنجش صفات کیفی و فیتوشیمیایی در روزهای صفر، ۷ و ۱۴ انبارمانی صورت گرفت.

### کاهش وزن میوه

نمونه‌هایی که برای این آزمون انتخاب شدند به‌طور جداگانه و ثابت در یک ظرف برچسب‌گذاری و نگهداری شدند. از هر تیمار ۳ میوه انتخاب گردید. در روز اول پس از اعمال تیمارها، وزن اولیه نمونه‌ها با دقت اندازه‌گیری شد. در روزهای ۷ و ۱۴ نیز نمونه‌ها توزین شده و اختلاف میان وزن نمونه‌ها در روزهای مختلف با روز اول بیانگر درصد کاهش وزن بود (Tanada-Palmu & Grosso, 2005) که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$WL (\%) = \left( \frac{W1 - W2}{W1} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن  $WL$ : درصد کاهش وزن،  $W1$ : وزن اولیه میوه قبل از انبار (گرم) و  $W2$ : وزن میوه در دوره‌های انباری (۷ و ۱۴ روز) (گرم) می باشد.

<sup>۱</sup> OSRAM

<sup>۲</sup> Lutron

## سفتی و درصد پوسیدگی

سفتی میوه با استفاده از آزمون نفوذسنجی و دستگاه بافت سنج (مدل Zwick/Roell Model BT1\_FR0.5TH.D14، آلمان) دارای پروب به قطر ۶/۴ میلی‌متر و عمق نفوذ ۳ میلی‌متر و سرعت ثابت (۱۰ mm/s) انجام شد. از هر تیمار تعداد ۳ توت‌فرنگی تقریباً هم‌اندازه و یک‌شکل انتخاب شد و از ناحیه استوایی بر روی صفحه ثابت دستگاه آنالیز بافت قرار گرفت. میزان سفتی بافت میوه بر اساس نیوتن بیان شد (Barikloo & Ahmadi, 2018). درصد پوسیدگی به صورت بصری و بر اساس تعداد میوه‌های پوسیده در هر تیمار اندازه‌گیری شد. هر میوه‌ای که علائم کوچکی از رشد کپک در آن مشاهده شد به‌عنوان میوه پوسیده در نظر گرفته شد. درصد پوسیدگی در هر دوره انبارداری (۷ و ۱۴ روز) تعیین شد (Nadim *et al.*, 2015).

## مواد جامد محلول

از رفراکتومتر دستی (مدل N1، شرکت آتاگو، ژاپن) برای تعیین مواد جامد محلول کل نمونه‌های توت‌فرنگی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس استفاده شد و برحسب درجه بریکس ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) بیان شد. پیش از شروع به کار، رفراکتومتر با آب مقطر کالیبره گردید و پس از هر بار قرائت به‌دقت رفراکتومتر تمیز شد تا از خطا جلوگیری گردد.

## اسیدیته قابل تیتراسیون و شاخص طعم

اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه توت‌فرنگی با استفاده از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم (۰/۱ نرمال) تا رسیدن به پی اچ ۸/۱ و بر اساس اسید سیتریک (اسید غالب میوه توت‌فرنگی) تعیین شد (Mohammadi *et al.*, 2022). شاخص طعم (TSS/TA) با تقسیم مواد جامد محلول کل (TSS) به اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) محاسبه گردید.

## اندازه‌گیری پی اچ

میزان پی اچ آب میوه با دستگاه پی اچ متر (مدل ۸۲۷، متروهم<sup>۱</sup>، سوئیس) اندازه‌گیری شد.

## فنل کل

برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل از معرف فولین-سیوکالتیو و به روش سینگلتون و روسی (Singelton & Rossi, 1965) استفاده شد. ۰/۵ گرم از بافت میوه با ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد هموژنیزه شد و پس از شیکر به مدت یک ساعت و سانترفیوژ با دور ۳۵۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه، فاز رویی جدا شده و ۳۰۰ میکرولیتر از آن با ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین رقیق شده (۱۰ درصد) ترکیب گردید. پس از ۵ دقیقه، ۱۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد اضافه گردید و پس از ۹۰ دقیقه قرار گرفتن روی شیکر در تاریکی، جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و با توجه به منحنی استاندارد اسید گالیک به‌دست آمده، محتوای فنل کل بر اساس میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه محاسبه گردید.

## فلاونوئید کل

برای محاسبه غلظت فلاونوئید کل از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم (Chang *et al.*, 2002) استفاده شد. مقدار ۲۷۵ میکرولیتر از عصاره رویی تهیه‌شده در قسمت اندازه‌گیری فنل کل با ۳۰۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵ درصد مخلوط شد و پس از گذشت ۵ دقیقه،

<sup>۱</sup> Metrohm

۶۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه شده و بعد از ۶ دقیقه ۲ میلی‌لیتر سود ۱ مولار به این مخلوط اضافه گردید و با استفاده از آب مقطر به حجم نهایی ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. محتوای فلاونوئید کل بر اساس میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه گزارش شد.

### آنتوسیانین کل

محتوای آنتوسیانین کل عصاره‌ها با استفاده از روش اختلاف پی اچ و با کمی تغییرات اندازه‌گیری شد (Ali et al., 2022). ۴ گرم پوره توت‌فرنگی با ۴۰ میلی‌لیتر از مخلوط متانول-اسید کلریدریک و با نسبت ۹۹ به ۱ استخراج شد و به مدت ۱۰ دقیقه تحت دستگاه اولتراسوند قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه و در ۳۵۰۰ دور، یک میلی‌لیتر از عصاره نمونه با ۹ میلی‌لیتر از هر یک از محلول‌های بافر کلرید پتاسیم (۰/۰۲۵ مولار، پی اچ ۱) و استات سدیم (۰/۴ مولار، پی اچ ۴/۵) مخلوط شد و جذب (A) با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر به ترتیب در ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. محتوای آنتوسیانین کل به صورت میلی‌گرم پلارگونیدین-۳-گلوکوزاید در هر ۱۰۰ گرم وزن تر طبق رابطه (۲) گزارش شد:

$$A = [(A520 - A700)pH_{1.0} - (A520 - A700)pH_{4.5}] \quad \text{رابطه ۲}$$

$$TAC \text{ (mg } 100g^{-1}) = \frac{A}{\epsilon L} \times 10^3 \times MW \times DF$$

که در آن TAC: محتوای آنتوسیانین کل،  $\epsilon$ : جذب مولی پلارگونیدین-۳-گلوکوزاید (۲۲۴۰۰)، L: عرض کووت دستگاه طیف سنجی (۱ سانتی متر)، MW: وزن مولکولی پلارگونیدین-۳-گلوکوزاید (۴۳۳،۲ گرم بر مول)، و DF: درجه رقت (۱۰).

### ویتامین ث

میزان ویتامین ث بر اساس روش پتریسیونی و همکاران با کمی تغییرات تعیین شد (Petriccione et al., 2015). میوه‌های توت‌فرنگی (۲/۵ گرم) با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسید متافسفریک ۱۶ درصد حاوی ۰/۱۸ درصد دی سدیم اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) همگن شدند. مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۳۵۰۰ دور سانتریفیوژ، فیلتر و جمع‌آوری شد. مخلوط سنجش حاوی ۴۰۰ میکرولیتر عصاره، ۲۰۰ میکرولیتر اسید متافسفریک ۳ درصد و ۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین ۲۰ درصد در حجم نهایی ۲ میلی‌لیتر بود. پس از نگهداری در دمای اتاق به مدت ۱۰ دقیقه، جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر (UV-1280، شیمادزو، ژاپن) اندازه‌گیری شد. مقدار ویتامین ث برحسب میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن تر گزارش شد.

### فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت‌فرنگی توسط روش برند-ویلیامز و همکاران (Brand-Williams et al., 1995) انجام گرفت. به مقدار ۷۵ میکرولیتر از عصاره رویی تهیه‌شده در بخش فنل کل، ۲۹۲۵ میکرولیتر محلول DPPH ۶۰ میکرومولار اضافه و سپس ورتکس گردید. مخلوط حاصل در تاریکی و دمای اتاق نگهداری و پس از ۳۰ دقیقه میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها بر اساس کاهش جذب نمونه نسبت به شاهد برحسب درصد قدرت مهارکنندگی DPPH و طبق رابطه (۳) بیان گردید:

$$\% \text{Inhibition} = \left( \frac{A515 \text{ Con} - A515 \text{ Sam}}{A515 \text{ Con}} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$



که در آن Inhibition %: درصد مهارکنندگی DPPH، A515 Con: میزان جذب شاهد و A515 Sam: میزان جذب نمونه می‌باشد.

## اندازه‌گیری رنگ میوه

پارامترهای رنگی از قبیل میزان  $L^*$  (درجه روشنایی)،  $a^*$  (درجه قرمزی) و  $b^*$  (درجه زردی)، کروما و زاویه هیو توسط دستگاه رنگ‌سنج (HP-200، چین) در سه نقطه از هر میوه تعیین شد. شاخص  $L^*$  نشان‌دهنده روشنی یا تیرگی رنگ می‌باشد و از ۰ (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است. شاخص  $a^*$  از -a (سبزی) تا +a (قرمزی) و شاخص  $b^*$  از -b (آبی) تا +b (زردی) متغیر می‌باشد.

## تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و پس از بررسی نرمال بودن آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای ارزیابی تفاوت میان تیمارهای مختلف نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ صورت گرفت.

## یافته‌های پژوهش

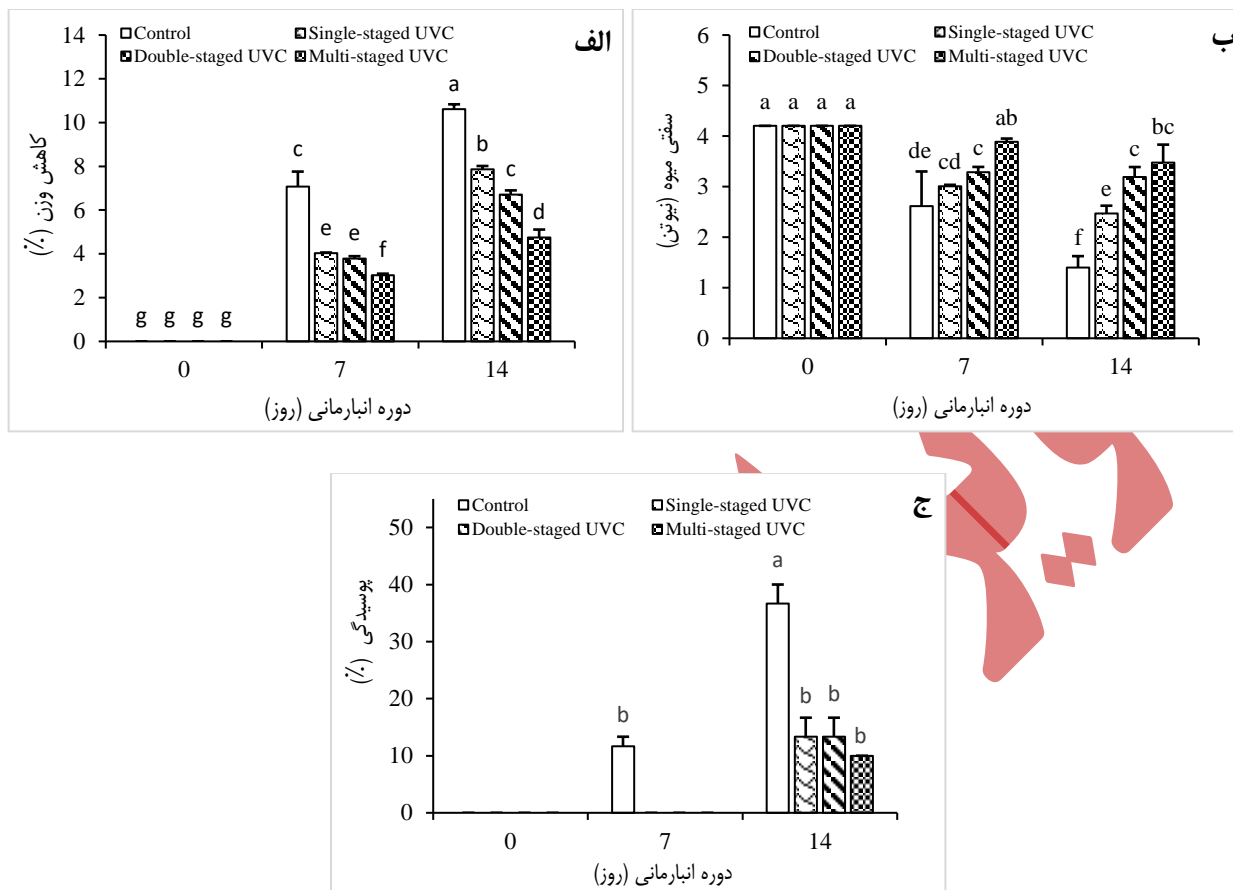
### کاهش وزن، سفتی و پوسیدگی

با افزایش دوره نگهداری درصد کاهش وزن در میوه‌های شاهد و تیمار شده افزایش پیدا کرد، اما تیمار UV-C به طور معنی‌داری از کاهش وزن میوه‌ها جلوگیری کرد. در روز ۷ و ۱۴ انبارمانی میوه‌های هر سه تیمار UV-C (تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای) کاهش وزن کمتری نسبت به میوه‌های شاهد نشان دادند که میانگین کاهش وزن این سه تیمار به ترتیب در روز ۱۴ انبارمانی ۷/۸۶، ۶/۷۰ و ۴/۷۶ درصد بود که نسبت به شاهد این دوره (۱۰/۶۱ درصد) به طور معنی‌داری کاهش وزن کمتری را نشان دادند. در پایان انبارمانی بهترین تیمار از نظر تأثیر روی جلوگیری از کاهش وزن میوه، تیمار تابش UV-C چند مرحله‌ای بود که توانست ۵۵ درصد کاهش وزن کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد داشته باشد (شکل ۱. الف).

سفتی میوه‌ها تحت تأثیر تیمار نور UV-C قرار گرفت و با گذشت زمان سفتی میوه‌ها کاهش پیدا کرد. در روز ۷ انبارمانی میوه‌هایی که تحت تیمارهای مختلف UV-C قرار گرفته بودند توانستند سفتی میوه‌ها را بهتر از شاهد حفظ کنند و این حفظ سفتی تا پایان انبارمانی به همین صورت ادامه پیدا کرد، به نحوی که در روز ۱۴ انبارمانی سفتی میوه‌ها در تیمارهای تک، دو و چند مرحله‌ای UV-C به ترتیب ۲/۴۷، ۳/۱۹ و ۳/۴۸ نیوتن بود که در مقایسه با شاهد با میانگین سفتی ۱/۴۰ نیوتن در حفظ سفتی میوه‌ها بهتر عمل کردند. تیمار چند مرحله‌ای UV-C بهتر از سایر تیمارهای فرابنفش عمل کرد به نحوی که در طول انبارمانی تنها ۱۷ درصد سفتی بافت میوه کاهش یافت که در مقایسه با میوه‌های شاهد (کاهش ۶۷ درصد) بسیار درخور توجه بود (شکل ۱. ب).

درصد پوسیدگی میوه در طول انبارمانی افزایش پیدا کرد، اما تیمارهای UV-C به طور معنی‌داری درصد پوسیدگی را کاهش دادند. به طوری که تیمارهای مختلف UV-C در روز ۷ انبارمانی درصد پوسیدگی صفر را نشان دادند اما در روز ۱۴ انبارمانی درصد پوسیدگی در تیمارهای چند مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و تک مرحله‌ای UV-C به ترتیب ۱۰، ۱۳/۳۳ و ۱۳/۳۳ درصد بود. درصد پوسیدگی شاهد در پایان انبار ۳۶/۶۷ درصد بود. در روز ۱۴ انبارمانی، کاهش پوسیدگی ۷۳-۶۴ درصد میوه با کاربرد تیمارهای UV-C نسبت به شاهد به دست آمد (شکل ۱. ج).





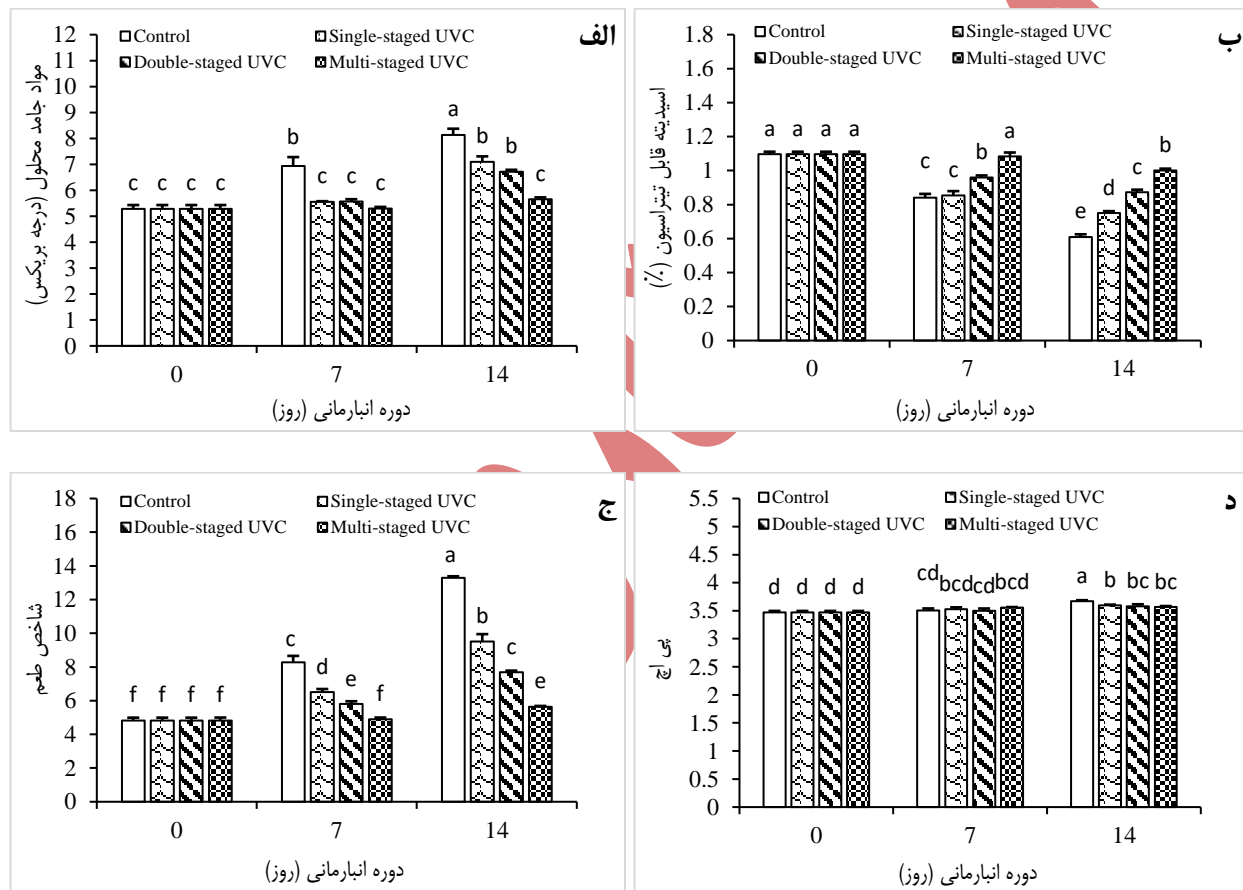
شکل ۱. تأثیر برهم‌کنش تیمار UV-C مرحله‌ای و دوره انبارمانی بر کاهش وزن (الف)، سفتی (ب) و پوسیدگی (ج) میوه توت‌فرنگی رقم پاروس. شاهد (Control)، تابش UV-C تک مرحله‌ای (Single-staged UVC)، تابش UV-C دو مرحله‌ای (Double-staged UVC) و تابش UV-C چند مرحله‌ای (Multi-staged UVC). مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند. همچنین، میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار استاندارد می‌باشند.

### مواد جامد محلول، اسیدینه قابل تیتراسیون، شاخص طعم و pH

نتایج برهم‌کنش اثر تیمارهای مختلف UV-C روی میزان مواد جامد محلول کل در طول مدت انبارمانی میوه توت‌فرنگی نشان داد که مقدار این صفت در همه تیمارها (پروتابی شده و نشده) افزایش پیدا کرد اما تیمارهای UV-C به‌خوبی از افزایش مواد جامد محلول میوه جلوگیری کردند. در روز ۷ انبارمانی بین تیمارهای UV-C تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و حتی بین روز صفر و روز ۷ این تیمارها نیز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما با افزایش مدت انباری تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد. تابش UV-C چند مرحله‌ای به عنوان بهترین تیمار از نظر حفظ محتوای جامد محلول از شروع تا پایان انبارمانی بود و در هر سه دوره از این تیمار تفاوت معنی‌داری بین محتوای جامد محلول میوه‌های تیماردهی شده مشاهده نشد. همچنین، در روز ۱۴ انبارمانی بین تیمارهای UV-C دو و تک مرحله‌ای تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲. الف).

اسیدینه قابل تیتراسیون در طول دوره انباری کاهش پیدا کرد اما تیمارهای UV-C بهتر از شاهد توانستند اسیدینه میوه را حفظ کنند. میزان اسیدینه تیمار چند مرحله‌ای UV-C در روزهای صفر و ۷ انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بالاترین میزان اسیدینه قابل تیتراسیون در روز ۱۴ انبارمانی در تیمار UV-C چند مرحله‌ای به دست آمد (۱/۰ درصد). درصد کاهش میزان اسیدینه تیمارهای پژوهش حاضر در روز ۱۴ در مقایسه با روز صفر انبارمانی به ترتیب در تیمارهای شاهد، UV-C تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای ۴۴، ۳۲، ۲۰ و ۹ درصد بود (شکل ۲. ب).

میزان شاخص طعم یا نسبت قند به اسید با گذشت انبارمانی افزایش پیدا کرد. بیشترین و کمترین شاخص طعم در پایان انبارمانی میوه‌ها به ترتیب در شاهد (۱۳/۳۰) و تیمار UV-C چند مرحله‌ای (۵/۶۴) به دست آمد. تیمار UV-C دو مرحله‌ای نیز میزان شاخص طعم کمتری در مقایسه با تابش UV-C تک مرحله‌ای و شاهد نشان داد و این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۲. ج). با افزایش مدت انبارمانی میزان پی‌اچ میوه‌ها افزایش یافت. از نظر تفاوت در میزان پی‌اچ در روز ۷ انبارمانی بین تیمارهای مختلف و بین روز صفر و روز ۷ تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد؛ اما در روز ۱۴ انباری تیمارهای UV-C در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند اما خود تیمارهای UV-C با یکدیگر در این دوره تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۲. د).



**شکل ۲.** تأثیر برهم‌کنش تیمار UV-C و دوره انبارمانی بر مواد جامد محلول (الف)، اسیدیته قابل تیتراسیون (ب)، شاخص طعم (ج) و پی‌اچ (د) میوه توت‌فرنگی رقم پاروس. شاهد (Control)، تابش UV-C تک مرحله‌ای (Single-staged UVC)، تابش UV-C دو مرحله‌ای (Double-staged UVC) و تابش UV-C چند مرحله‌ای (Multi-staged UVC). مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار استاندارد می‌باشند.

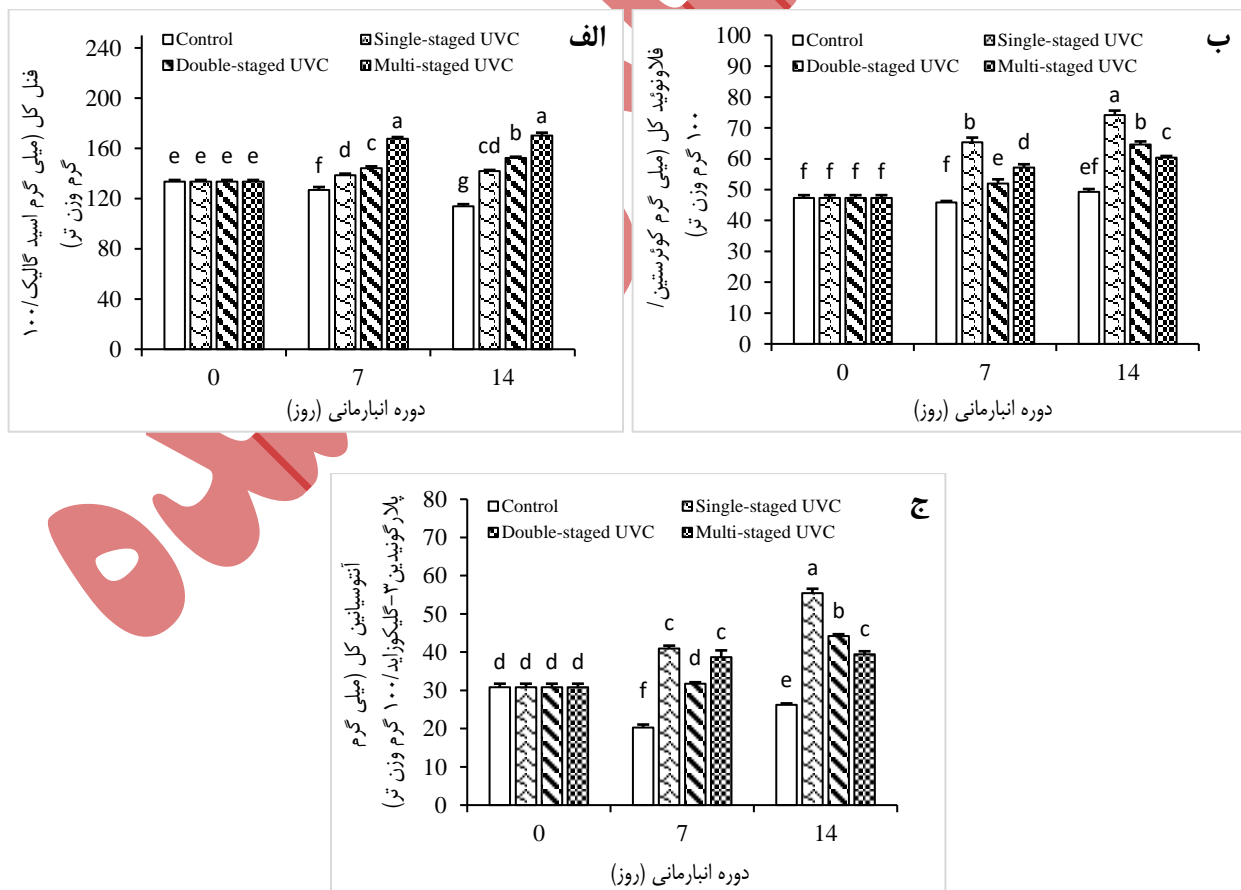
### محتوای فنل کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین کل

اثر برهم‌کنش تیمارهای UV-C و دوره انبارمانی روی محتوای فنل کل نشان داد که کاربرد تابش UV-C سبب افزایش معنی‌دار فنل کل در طول دوره انبارمانی شد. در پایان انبارمانی غلظت فنل کل به ترتیب از بیشترین به کمترین میزان ۱۷۰/۰۹، ۱۵۲/۲۷، ۱۴۱/۹۱ و ۱۱۳/۸۲ میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم تر مربوط به تیمارهای UV-C چند مرحله‌ای، دو مرحله‌ای، تک مرحله‌ای

و تیمار شاهد بود. تیمار چند مرحله‌ای UV-C توانست غلظت فنل کل را ۲۷/۳۰ درصد در مقایسه با روز صفر انبارمانی افزایش دهد (شکل ۳. الف).

محتوای فلاونوئید کل تحت تأثیر تیمار UV-C قرار گرفت. غلظت فلاونوئید کل در میوه‌های شاهد در طول انبارمانی بدون تغییر معنی‌داری ثابت باقی ماند اما تیمارهای مختلف فرابنفش در هر دو دوره ۷ و ۱۴ روزه انباری میزان فلاونوئید را افزایش دادند. در روز ۷ انبارمانی، تیمار تک مرحله‌ای UV-C بیشترین مقدار فلاونوئید کل (۶۵/۳۳ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) را در مقایسه با تیمار دو مرحله‌ای (۵۲ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) و چند مرحله‌ای UV-C (۵۷/۱۷ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) نشان داد. در پایان انبارمانی میوه‌هایی که تحت تیمار UV-C تک مرحله‌ای قرار گرفتند بالاترین غلظت فلاونوئید کل را نشان دادند و پس از آن تیمارهای دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای UV-C نیز در مقایسه با شاهد میانگین بالاتری از محتوای فلاونوئید کل نشان دادند (شکل ۳. ب).

روند افزایش غلظت آنتوسیانین کل در تیمارهای UV-C در پژوهش حاضر مشابه با افزایش در محتوای فلاونوئید کل تیمارها بود. در پایان انبارمانی بیشترین مقدار آنتوسیانین کل در تیمار تک مرحله‌ای با میانگین ۵۵/۴۱ میلی‌گرم پلارگونیدین ۳-گلیکوزاید در ۱۰۰ گرم وزن تر بود، در حالی که تیمار شاهد با میانگین ۲۶/۲۰ میلی‌گرم پلارگونیدین ۳-گلیکوزاید در ۱۰۰ گرم وزن تر کمترین میزان آنتوسیانین کل را نشان داد. روند کاهشی در محتوای آنتوسیانین کل میوه‌های شاهد در هر دو دوره ۷ و ۱۴ روزه در مقایسه با روز صفر مشاهده شد که میزان این کاهش در روز ۷ بیشتر از روز ۱۴ بود (شکل ۳. ج).



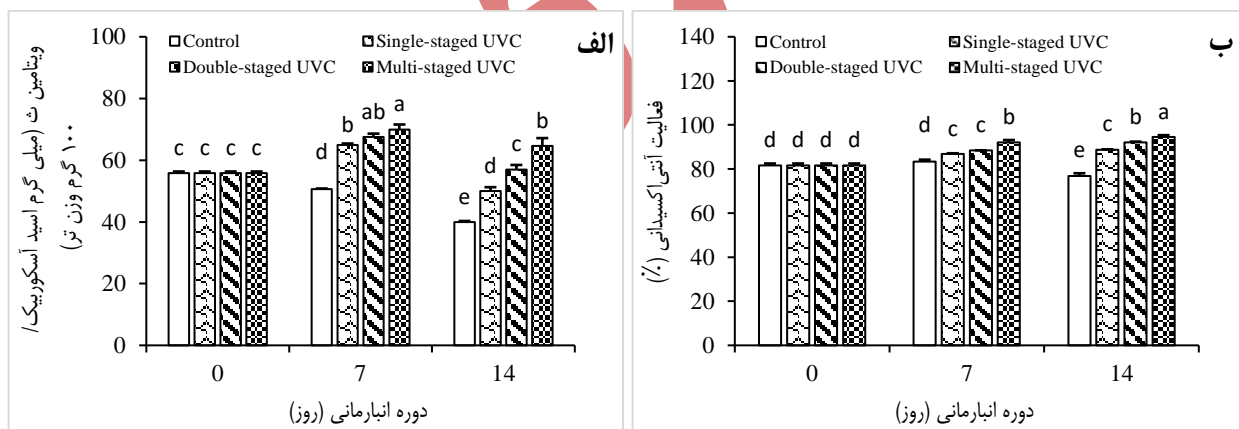
شکل ۳. تأثیر برهم‌کنش تیمار UV-C و دوره انبارمانی بر غلظت فنل کل (الف)، فلاونوئید کل (ب) و آنتوسیانین کل (ج) میوه توت‌فرنگی رقم پاروس. شاهد (Control).

تابش UV-C تک مرحله‌ای (Single-staged UVC)، تابش UV-C دو مرحله‌ای (Double-staged UVC) و تابش UV-C چند مرحله‌ای (Multi-staged UVC). مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند. همچنین، میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار استاندارد می‌باشند.

### محتوای ویتامین ث، فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تابش UV-C در طول انبارمانی غلظت ویتامین ث میوه را افزایش دادند اما این افزایش در روز ۷ نسبت به روز ۱۴ بیشتر بود. با وجود کاهش غلظت ویتامین ث در روز ۱۴ در مقایسه با روز ۷ انبارمانی اما میانگین ویتامین ث تیمارهای UV-C در روز ۱۴ بیشتر از روز صفر بود. میزان ویتامین ث در میوه‌های شاهد با افزایش مدت انبارمانی به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد اما میوه‌های تحت تیمار UV-C سبب افزایش ویتامین ث شدند. در روز ۷ انبارمانی، بین تیمارهای چند مرحله‌ای و دو مرحله‌ای با یکدیگر و تیمارهای دو مرحله‌ای و تک مرحله‌ای UV-C با یکدیگر از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ اما تیمار چند مرحله‌ای و تک مرحله‌ای در روز ۷ انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان دادند. بیشترین و کمترین میزان ویتامین ث در روز ۱۴ انبارمانی به ترتیب در تیمار تابش UV-C چند مرحله‌ای (۶۴/۵۹ میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) و شاهد (۳۹/۹۶ میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) به دست آمد. درصد افزایش محتوای ویتامین ث در تیمار UV-C چند مرحله‌ای در روز ۷ و ۱۴ نسبت به روز صفر انبارمانی به ترتیب ۲۵ و ۱۶ درصد بود (شکل ۴، الف).

با وجود کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های شاهد با گذشت دوره‌های انبارمانی اما تیمارهای UV-C سبب افزایش آن شدند. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمار شاهد تا روز ۷ انبارمانی بدون تغییر معنی‌داری ثابت باقی ماند اما در روز ۱۴ انبارمانی مشابه با ویتامین ث و فنل کل کاهش یافت. در پایان انبارمانی تیمارهای UV-C چند مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و تک مرحله‌ای به ترتیب افزایش ۱۵/۷۱، ۱۲/۶۶ و ۸/۶۶ درصدی فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در مقایسه با روز صفر سبب شدند. تابش چند مرحله‌ای UV-C با فعالیت ۹۴/۵۳ درصد بالاترین میزان فعالیت را در بین دیگر تیمارها نشان داد و تفاوت معنی‌داری نیز در هر سه دوره با تیمارهای دیگر نشان داد (شکل ۴، ب).



شکل ۴. تأثیر برهم‌کنش تیمار UV-C مرحله‌ای و دوره انبارمانی بر غلظت ویتامین ث (الف) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (ب) میوه توت‌فرنگی رقم پاروس. شاهد (Control)، تابش UV-C تک مرحله‌ای (Single-staged UVC)، تابش UV-C دو مرحله‌ای (Double-staged UVC) و تابش UV-C چند مرحله‌ای (Multi-staged UVC). مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند. همچنین، میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار استاندارد می‌باشند.

### شاخص‌های رنگ

شاخص‌های رنگ اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر که در جدول (۱) نشان داده شده‌اند تحت تأثیر تیمارهای UV-C و دوره انبارمانی قرار گرفتند. مقدار شاخص  $L^*$  (درخشندگی) در طول انبارمانی در میوه‌ها کاهش پیدا کرد اما تیمارهای فرابنفش به‌خوبی

توانستند مقدار درخشندگی را در مقایسه با شاهد حفظ کنند و از کاهش آن جلوگیری کنند. تفاوت معنی‌داری بین درخشندگی میوه‌های تیمار چند مرحله‌ای UV-C در هر سه دوره انبارمانی مشاهده نشد. میزان کاهش مقدار درخشندگی در روز ۱۴ انبارمانی نسبت به روز صفر در تیمار شاهد و تابش UV-C چند مرحله‌ای به ترتیب ۲۴/۳۷ و ۵/۶۳ درصد بود. تیمار تک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای UV-C در روز ۱۴ انبارمانی کاهش معنی‌داری در میزان درخشندگی میوه نسبت به روز صفر نشان دادند اما تیمار UV-C چند مرحله‌ای بهتر از دو تیمار دیگر در این مورد عمل کرد (جدول ۱).

میزان  $a^*$  (قرمزی) در طول انبارمانی افزایش پیدا کرد اما این افزایش فقط در تیمارهای UV-C از نظر آماری معنی‌دار بود. میوه‌های شاهد از نظر میزان  $a^*$  تغییر معنی‌داری نشان ندادند. در پایان انبارمانی درصد افزایش میزان شاخص  $a^*$  تیمارهای UV-C تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای در مقایسه با روز صفر این تیمارها به ترتیب ۳۱، ۱۵ و ۱۰ درصد بود که میزان این افزایش با میزان افزایش محتوای آنتوسیانین کل در این تیمارها متناسب می‌باشد (جدول ۱).

مقدار شاخص  $b^*$  در تیمارهای مختلف پژوهش حاضر در دوره‌های ۷ و ۱۴ روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان نداد و باینکه مقدار این شاخص در طول انبارمانی کاهش پیدا کرد اما این کاهش چه در شاهد و چه در تیمارهای UV-C معنی‌دار نبود (جدول ۱). میزان کروما در تیمارهای مختلف در طول انبارمانی افزایش نشان داد اما در پایان انبارمانی این افزایش تنها در تیمار UV-C تک مرحله‌ای معنی‌دار بود (۲۸/۷۳ درصد افزایش در مقایسه با روز صفر این تیمار). مشابه این روند در مورد شاخص درخشندگی میوه مشاهده شد که هر دوی این شاخص‌ها اثرات مشابهی را نشان دادند (جدول ۱).

میزان زاویه هیو تحت تأثیر تابش UV-C و دوره انبارمانی قرار نگرفت و در طول دوره‌های مختلف انبارمانی میوه‌های تحت تیمارهای UV-C نیز تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نشان ندادند (جدول ۱).

جدول ۱. تأثیر برهم‌کنش تیمار UV-C مرحله‌ای و دوره انبارمانی بر شاخص‌های رنگ  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، Chroma و Hue angle میوه توت‌فرنگی رقم پاروس. یافته‌های تحقیق

تیمار	روز انبارمانی	$L^*$	$a^*$	$b^*$	کروما	زاویه هیو
شاهد	۰	۳۶/۷۳ <sup>ab</sup>	۳۳/۳۱ <sup>ef</sup>	۱۰/۸۷ <sup>ab</sup>	۳۵/۰۵ <sup>de</sup>	۱۸/۰۶ <sup>ab</sup>
	۷	۳۱/۳۷ <sup>c</sup>	۳۴/۱۸ <sup>def</sup>	۸/۸۲ <sup>abc</sup>	۳۵/۳۰ <sup>de</sup>	۱۴/۴۷ <sup>abcd</sup>
	۱۴	۲۷/۷۸ <sup>d</sup>	۳۵/۴۷ <sup>bcdef</sup>	۶/۶۳ <sup>c</sup>	۳۶/۰۹ <sup>de</sup>	۱۰/۵۹ <sup>d</sup>
UV-C تک مرحله‌ای	۰	۳۸/۸۱ <sup>a</sup>	۲۸/۱۵ <sup>g</sup>	۸/۸۸ <sup>abc</sup>	۲۹/۶۴ <sup>f</sup>	۱۷/۴۵ <sup>abc</sup>
	۷	۳۵/۸۹ <sup>ab</sup>	۳۲/۴۸ <sup>f</sup>	۸/۲۰ <sup>abc</sup>	۳۳/۵۳ <sup>e</sup>	۱۴/۰۶ <sup>abcd</sup>
	۱۴	۳۰/۹۹ <sup>cd</sup>	۳۷/۰۱ <sup>abcd</sup>	۷/۸۲ <sup>bc</sup>	۳۷/۸۶ <sup>abcd</sup>	۱۱/۸۴ <sup>d</sup>
UV-C دو مرحله‌ای	۰	۳۹/۴۷ <sup>a</sup>	۳۳/۵۰ <sup>ef</sup>	۱۱/۳۶ <sup>a</sup>	۳۵/۳۸ <sup>de</sup>	۱۸/۷۵ <sup>a</sup>
	۷	۳۷/۴۴ <sup>ab</sup>	۳۵/۱۱ <sup>cdef</sup>	۱۱/۰۴ <sup>ab</sup>	۳۶/۸۱ <sup>bcde</sup>	۱۷/۴۲ <sup>abc</sup>
	۱۴	۳۴/۷۸ <sup>b</sup>	۳۸/۴۸ <sup>ab</sup>	۱۰/۰۳ <sup>ab</sup>	۳۹/۷۷ <sup>ab</sup>	۱۴/۶۱ <sup>abcd</sup>
UV-C چند مرحله‌ای	۰	۳۹/۱۱ <sup>a</sup>	۳۵/۹۰ <sup>bcde</sup>	۹/۷۵ <sup>abc</sup>	۳۷/۲۳ <sup>abcd</sup>	۱۵/۱۵ <sup>abcd</sup>
	۷	۳۷/۳۸ <sup>ab</sup>	۳۷/۹۹ <sup>abc</sup>	۹/۳۲ <sup>abc</sup>	۳۹/۱۴ <sup>abc</sup>	۱۳/۷۴ <sup>bed</sup>
	۱۴	۳۶/۹۱ <sup>ab</sup>	۳۹/۴۵ <sup>a</sup>	۸/۹۹ <sup>abc</sup>	۴۰/۴۹ <sup>a</sup>	۱۲/۸۲ <sup>cd</sup>

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ دارند.

## بحث

نتایج پژوهش حاضر حاکی از اثر مثبت تیمار UV-C در جلوگیری از کاهش وزن میوه بود. تابش UV-C چند مرحله‌ای با ۴/۷۶ درصد و تیمار شاهد با ۱۰/۶۱ درصد کاهش وزن در پایان انبارمانی به ترتیب کمترین و بیشترین درصد کاهش وزن را داشتند. دیگر

تیمارهای UV-C نیز در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری از کاهش وزن میوه جلوگیری کردند (شکل ۱. الف). کاهش وزن در میوه‌ها عمدتاً به دلیل از دست دادن آب ناشی از تبخیر در سطح بافت (نتیجه فرآیندهای تنفس و تعرق) در طول ذخیره‌سازی است (Zhao *et al.*, 2019). بنابراین، هر عاملی که میزان تنفس را کاهش دهد می‌تواند به طور غیرمستقیم کاهش وزن را مهار کند (Nasirzadeh, 2010). نقش نور UV-C در جلوگیری از کاهش وزن در میوه‌ها ممکن است به دلیل محدود کردن میزان تنفس و تعرق (Abdipour *et al.*, 2019) و مهار اختلالات غشای سلولی باشد (Promyou, 2012). از اثرات دیگر تابش UV-C، غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها می‌باشد که با محدود کردن رشد آنها باعث کاهش آسیب به دیواره‌ها و بافت‌ها، حفظ سفتی و جلوگیری از کاهش وزن محصولات می‌شود (Hosseini *et al.*, 2019). نتایج پژوهش‌های دیگر روی اثر تابش UV-C در جلوگیری از کاهش وزن میوه کدو تلخ (Prajapati *et al.*, 2021)، خرمالو (Asgareyan *et al.*, 2019)، هلو (Abdipour *et al.*, 2019) و پسته (Hosseini *et al.*, 2019) با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

سفتی یک ویژگی کیفی ضروری در میوه‌ها و سبزی‌ها است که بلوغ محصول باغبانی را تعیین می‌کند. تابش UV-C منجر به سفتی بیشتر و در نهایت منجر به کیفیت بهتر میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود (Singh *et al.*, 2022). سفتی میوه‌های تحت تیمار UV-C در پژوهش حاضر بهتر از نمونه‌های شاهد حفظ شد. تیمار چند مرحله‌ای UV-C بالاترین میزان سفتی را نشان داد. در روز ۱۴ انبارمانی، تیمارهای چند مرحله‌ای، دو و تک مرحله‌ای UV-C به ترتیب ۱۴۸، ۱۲۸ و ۷۶ درصد سفتی بیشتری در مقایسه با شاهد در همین روز نشان دادند (شکل ۱. ب). به طور طبیعی، سفتی میوه با گذشت دوره انبارمانی کاهش می‌یابد اما سفتی بالاتری در نمونه تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد گزارش شد (Idzwana *et al.*, 2020; Prajapati *et al.*, 2021). تیمار UV-C فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی و ژن‌های مرتبط با آن‌ها را کاهش می‌دهد، بنابراین سفتی بافت محصولات باغبانی را بهبود می‌بخشد (Singh *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای که روی اثر تابش UV-C روی میوه توت‌فرنگی انجام گرفت، بیان شد که افزایش سفتی با افزایش سطح پلی آمین‌ها مرتبط می‌باشد که در مکانیسم مشابهی با کلسیم عمل می‌کند. پلی آمین دسترسی آنزیم به دیواره سلولی را با تشکیل پیوند متقابل کاتیون با پلی ساکاریدها و اسید پکتیک محدود می‌کند (D. Li *et al.*, 2014) و در نهایت سفتی بیشتر را به مجموعه‌ای از ژن‌های کدگذاری شده برای آنزیم‌ها و پروتئین‌های درگیر در تخریب دیواره سلولی مرتبط دانستند (Idzwana *et al.*, 2020).

پرتو UV-C می‌تواند رشد عوامل قارچی را به میزان قابل توجهی کاهش و ماندگاری محصولات باغبانی را افزایش دهد. تابش UV-C هم‌چنین سبب افزایش ترکیبات زیست فعال محصولات می‌شود که آن را به یک تیمار جذاب در فرآوری مواد غذایی تبدیل کرده است (Singh *et al.*, 2022). نور UV-C، به‌ویژه در ۲۵۴ نانومتر، سبب کاهش بروز پوسیدگی انباری می‌شود و کیفیت چندین میوه و سبزی را بهبود می‌بخشد (Nigro *et al.*, 1998; Shama, 2007). در این مطالعه، درصد پوسیدگی میوه‌ها تحت تیمار UV-C کاهش پیدا کرد. کمترین درصد پوسیدگی در پایان انبارمانی مربوط به تیمارهای UV-C بود که بین ۱۰ تا ۱۳ درصد متغیر بود. افزایش ۲۱۴ درصدی پوسیدگی در میوه‌های شاهد مشاهده شد (شکل ۱. ج). پوسیدگی فلفل دلمه‌ای از طریق غیرفعال کردن کینیدی‌های *B. cinerea* در زخم‌های میوه با استفاده از دوزهای UV-C ۲/۴-۲/۴ کیلوژول بر مترمربع کاهش یافت (Mercier *et al.*, 2001). تابش UV-C از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی گلوتاتیون (GSH) و ترکیبات فنلی به طور معنی‌داری پوسیدگی توت‌فرنگی انبار شده در دمای ۱۰ درجه سلسیوس را کاهش داد (Erkan *et al.*, 2008).

در طول انبارمانی میزان مواد جامد محلول در نمونه شاهد در مقایسه با میوه‌های تحت تابش UV-C به شدت افزایش یافت و در روز ۱۴ام به اوج خود رسید (۸/۱۳ درجه بریکس). تیمارهای UV-C به‌خوبی از افزایش مواد جامد محلول کل جلوگیری کردند. هم‌چنین، تیمارهای دو و تک مرحله‌ای نیز از نظر آماری اثرات یکسانی روی میزان مواد جامد محلول در روز آخر انباری نشان دادند. بر اساس نتایج فوق، تیمارهای نور UV-C به‌ویژه تیمار چند مرحله‌ای توانست به طور موثری از افزایش مواد جامد محلول کل در طول دوره انبارمانی جلوگیری کند (شکل ۲. الف). افزایش میزان مواد جامد محلول ممکن است با از دست دادن آب و فرآیند رسیدگی یا نرم شدن همراه باشد که به‌نوبه خود به دلیل افزایش فعالیت آنزیمی و کاهش فشار تورژسانس است. دپلمیریزه شدن پلی ساکاریدهای نامحلول



در دیواره سلولی مانند پکتین و سلولز به قندهای محلول با وزن مولکولی پایین و افزایش خلالت همی سلولز و پلی وینیلیدین در دیواره سلولی از دیگر عوامل موثر در افزایش مواد جامد محلول کل می‌باشند (Abdipour *et al.*, 2020). اثرات تابش فرابنفش بر مقدار مواد جامد محلول میوه‌ها ممکن است به دلیل کند کردن فرآیندهای کاتابولیک و سرعت تنفس باشد (HosseiniFarahi *et al.*, 2018). نتایج مطالعه حاضر در تطابق با نتایج گزارش شده در خصوص اثر مهارکننده تابش UV-C بر تغییرات مواد جامد محلول در هلو (Abdipour *et al.*, 2019)، برش‌های تازه آناناس (Pan & Zu, 2012) و آناناس (Ou *et al.*, 2016) می‌باشد. کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون بیشتر در میوه‌های تیمار نشده می‌تواند به دلیل استفاده از اسیدهای آلی به عنوان ماده اولیه در متابولیسم تنفسی مرتبط باشد (Gol *et al.*, 2015). نتایج ما مطابق با نتایج گزارش شده توسط (Hu *et al.*, 2022) (Araque *et al.*, 2018) و (Abdipour *et al.*, 2020) می‌باشد که در آن تابش UV-C از کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون در میوه‌های توت‌فرنگی، گیلاس شیرین و میوه برش خورده کیوی در طول انبارمانی جلوگیری کرد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، مقدار پی اچ میوه در تیمارهای UV-C در طول انبارمانی افزایش پیدا کرد (شکل ۲. د)؛ که به معنای کاهش سطح اسیدیته در میوه‌ها می‌باشد. اسیدیته قابل تیتراسیون نیز در میوه‌های تحت تیمار UV-C در پایان انبارمانی بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۲. ب). این نتایج در تطابق با نتایج سایر تحقیقاتی می‌باشد که افزایش میزان پی اچ را در طول دوره انباری توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی گزارش کردند (Caner *et al.*, 2008; García *et al.*, 2014). نتایج پژوهش حاضر با نتایج گزارش شده در پژوهش (Damdam *et al.*, 2023) مطابقت دارد. شاخص طعم، مهم‌ترین پارامتر در ارزیابی کیفیت توت‌فرنگی، تعیین‌کننده هماهنگی طعم میوه و مقبولیت مصرف‌کننده می‌باشد (Sturm *et al.*, 2003). میوه‌های تحت تابش UV-C در روز ۱۴ انبارمانی شاخص طعم کمتری نسبت به تیمار شاهد نشان دادند (شکل ۲. ج). این موضوع را می‌توان به مهار سرعت تنفس تحت تأثیر تیمار UV-C و در نتیجه حفظ اسیدیته میوه‌های توت‌فرنگی مرتبط دانست. علاوه بر این، تابش UV-C سبب جلوگیری از تجزیه مواد جامد محلول می‌شود که در نهایت سبب پایین‌تر بودن شاخص طعم در میوه‌های تیمار شده در مقایسه با میوه‌های شاهد می‌شود. هم‌چنین، کاهش شاخص طعم تحت تأثیر تیمار UV-C نشان دهنده تأخیر در رسیدن میوه توت‌فرنگی می‌باشد.

بنا بر نتایج این مطالعه، محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین کل میوه‌ها در طول انبارمانی افزایش پیدا کرد که در بین تیمارهای آزمایش، تیمار تک مرحله‌ای UV-C بیشترین مقدار فلاونوئید (افزایش ۵۷ درصدی در روز ۱۴ و ۳۸ درصدی در روز ۷ انبارمانی) و آنتوسیانین کل (۸۰ درصد افزایش در روز ۱۴ و ۳۳ درصد افزایش در روز ۷ انبارمانی) را در مقایسه با میوه‌های روز صفر نشان داد (شکل ۳. ب و ج). افزایش محتوای فلاونوئیدها در این پژوهش ممکن است مکانیسم واکنش میوه توت‌فرنگی در برابر تنش ناشی از تابش UV-C باشد، که سبب تجمع فلاونوئیدها به دلیل فعال شدن مسیر فنیل پروپانویید در برابر تابش UV-C شود. فعالیت آنزیم‌های کلیدی مسیر فنیل پروپانویید، PAL، 4CL و C4H منجر به افزایش محتوای فلاونوئید کل می‌شود (Yang *et al.*, 2018). کاهش بیشتر در محتوای آنتوسیانین کل در تیمار شاهد از ابتدا تا پایان انبارمانی مشاهده شد (از ۳۰/۸۵ به ۲۰/۲۶ و ۲۶/۲۰ در پایان انبارمانی)، که این کاهش در روز ۷ بالاتر از روز ۱۴ انبارمانی بود (شکل ۳. ج). این کاهش ممکن است به کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز آنتوسیانین یعنی فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) و آنتوسیانیدین سنتاز (ANS) مرتبط باشد (Severo *et al.*, 2015). در مقایسه با میوه‌های شاهد، میوه‌های تحت تابش فرابنفش در طول انبارمانی، محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین کل بیشتری را نشان دادند (شکل ۳. ب و ج). این افزایش ممکن است به دلیل القای بیوسنتز آنتوسیانین توسط نور فرابنفش باشد (Santin *et al.*, 2018). محتوای آنتوسیانین بالاتری در تیمارهای تابش UV-C نسبت به تیمار شاهد در گیلاس‌های انبار شده در دمای اتاق گزارش شد (Q. Zhang *et al.*, 2021). در مطالعات انجام شده بر روی توت‌فرنگی، گیلاس و بلوبری، افزایش مقدار آنتوسیانین کل در میوه‌های تحت تابش UV-C در طول انبارمانی گزارش شده است (Kataoka *et al.*, 2005; Xu & Liu, 2017) که با نتایج ما مطابقت دارد. کاهش غلظت آنتوسیانین کل نیز در طول انبارمانی در تحقیقات دیگری گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مغایر می‌باشد (K. Liu *et al.*, 2014; Sripong *et al.*, 2019)؛ که می‌تواند به دلیل تفاوت در دوز تابش فرابنفش اعمال شده و رقم میوه باشد (Erkan *et al.*, 2008).



نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای تابش UV-C به صورت دو و چند مرحله‌ای توانستند اثربخشی بهتری روی حفظ محتوای ویتامین ث در طول انبارمانی در مقایسه با تیمار تک مرحله‌ای داشته باشند (شکل ۴. الف). در واقع، مقادیر بالای ویتامین ث در میوه‌های تحت تابش با تاخیر در فرآیند پیری و کاهش میزان تنفس همراه است (Muhammad *et al.*, 2014)، با کاهش سرعت تنفس، غلظت اکسیژن داخلی کاهش و غلظت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد که منجر به مهار اکسیداسیون اسید آسکوربیک و سطوح بالای ویتامین ث در میوه‌ها می‌شود (Abdipour *et al.*, 2019). تأثیر کاربرد پس از برداشت دوزهای مختلف UV-C روی غلظت ویتامین ث در گوجه‌فرنگی و برش‌های تازه انبه کاهش بود (Maharaj *et al.*, 2014; González-Aguilar, Villegas-Ochoa, *et al.*, 2007) ولی در فلفل دلمه‌ای زرد بدون تغییر باقی ماند (Promyou & Supapvanich, 2012).

محتوای فنل کل تحت تابش UV-C در طول انبارمانی افزایش پیدا کرد و نور UV-C چند مرحله‌ای بهتر از سایر تیمارها بود و بالاترین درصد افزایش در این تیمار مشاهده شد. تیمار چند مرحله‌ای با افزایش انبارمانی از ۷ به ۱۴ روز تفاوت معنی‌داری در میزان فنل کل نشان نداد (شکل ۳. الف). تحقیقات قبلی تقویت سیگنال دهی ROSها را ناشی از اثر القاء کننده تابش UV-C دانسته اند و بیان کردند که نور UV-C سطوح ROSها را افزایش و در نتیجه مسیر فنیل پروپانویید را فعال کرده و باعث تجمع ترکیبات فنلی و هم‌چنین افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برش‌های تازه توت‌فرنگی می‌شود (M. Li *et al.*, 2019). در پژوهش حاضر نیز درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه روند مشابه با محتوای فنل کل را نشان داد و در روز آخر انبارمانی تیمار UV-C چند مرحله‌ای بالاترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۹۴/۵۳ درصد) را سبب شد (شکل ۴. ب). یافته‌های (Jacobó-Velázquez *et al.*, 2011) نشان داد که ROSها با تحریک فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم فنیل پروپانویید، بیوستز فنل‌ها را افزایش دادند. علاوه بر این، ثابت شده است که فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز (آنزیم کلیدی متابولیسم فنیل پروپانوییدها) و بیان ژن‌های مرتبط با آن تحت تیمار پرتو فرابنفش در توت‌فرنگی (D. Li *et al.*, 2014)، هلو و شلیل (El Ghaouth *et al.*, 2003; Scattino *et al.*, 2014) و انگور رومیزی (Sheng *et al.*, 2018) افزایش یافته است. علاوه بر این، فعالیت آنزیم‌ها و بیان ژن‌های دیگری مانند چالکون سنتاز، چالکون ایزومراز و پارا-کومارات لیگاز، که در مراحل اول متابولیسم فنیل پروپانویید دخیل می‌باشند، نیز تحت تیمار فرابنفش افزایش پیدا کرد (D. Li *et al.*, 2014; Scattino *et al.*, 2014). تیمار UV-C ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های گرمسیری تازه و ماندارین را افزایش داد (Alothman *et al.*, 2009b; Shen *et al.*, 2013). تیمار با UV-C منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌ها و سبزی‌های مختلف مانند توت‌فرنگی (Erkan *et al.*, 2008)، گوجه‌فرنگی (C. hong Liu *et al.*, 2012) و بلوبری (Wang *et al.*, 2009) شد. در این پژوهش، بالاترین غلظت فنل کل، ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار چند مرحله‌ای UV-C به دست آمد؛ به نظر می‌رسد کاربرد تابش فرابنفش به صورت مرحله‌ای و در شدت‌های کم با عمل از طریق خاصیت هورمیتیک آن سبب القاء پاسخ‌های مفید در محصولات مختلف می‌شود و اعمال آن در طول انبارمانی با القاء تنش غیرزیستی فرابنفش به صورت مداوم روی محتوای آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی و بهبود خواص کیفی آن بهتر از تیمارهای قبل از انبارمانی و تک مرحله‌ای عمل می‌کند.

رنگ ظاهری یکی از پارامترهای بسیار مهم می‌باشد که بر مقبولیت مصرف‌کنندگان و ادراک حسی محصولات تازه تأثیر می‌گذارد (Y. Zhang *et al.*, 2022). کاهش مقدار  $L^*$  به معنی ازدست‌دهی درخشندگی محصول می‌باشد، که معمولاً با قهوه‌ای شدن در میوه مشخص می‌شود (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2008). در پژوهش حاضر مقدار این پارامتر در طول انبارمانی کاهش پیدا کرد اما تیمارهای UV-C توانستند درخشندگی محصول را به طور معنی‌داری حفظ کنند و در این میان اثرات تیمار چند مرحله‌ای بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۱). تیره‌تر شدن رنگ میوه در طول انبارمانی میوه در درجه اول به افزایش تولید آنتوسیانین‌ها و ازدست‌دهی رطوبت (کاهش وزن) نسبت داده می‌شود (Han *et al.*, 2004) و هم‌چنین افزایش در مقدار شاخص  $a^*$  نیز سبب تیره‌تر شدن میوه و به طبع بالاتر بودن محتوای آنتوسیانین‌ها خواهد شد. تیمار UV-C تک مرحله‌ای بالاترین میزان افزایش  $a^*$  (قرمزی) را نشان داد که به نظر می‌رسد به بالا بودن مقدار آنتوسیانین مربوط باشد. پارامتر رنگ  $b^*$  تحت تأثیر تغییرات محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها قرار می‌گیرد (Lu *et al.*, 2020).

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تابش نور UV-C به صورت مرحله‌ای و در طول انبارمانی مؤثرتر از اعمال آن قبل از انبار عمل می‌کند. در پایان انبارمانی، نور UV-C چند مرحله‌ای سبب بیشترین سفتی، اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کمترین میزان مواد جامد محلول، شاخص طعم و درصد پوسیدگی و کاهش وزن شد. علاوه بر این، تیمار UV-C تک مرحله‌ای نیز بالاترین غلظت فلاونوئید و آنتوسیانین کل و درصد تغییر شاخص‌های رنگ  $a^*$  و کروما شد. تابش UV-C دو مرحله‌ای نیز بعد از تابش چند مرحله‌ای اثرات مثبتی روی خصوصیات کیفی و آنتی‌اکسیدانی میوه نشان داد. به نظر می‌رسد که به دلیل ویژگی هورمونیک تابش UV-C تکرار اعمال آن در طول انبارمانی سبب چند برابر شدن اثرات تنشی این تیمار می‌شود و اثرات بهتری نسبت به تیمار تک مرحله‌ای را سبب می‌شود که نیاز به بررسی بیشتر از نظر مکانیسم آنزیمی و مولکولی دخیل در این خصوص دارد. لذا به منظور حفظ یا افزایش قابل توجه خواص و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله محتوای فنل کل و ویتامین ث و کاهش وزن و پوسیدگی میوه توت‌فرنگی، استفاده از تیمار چند مرحله‌ای UV-C قابل توصیه می‌باشد.

## منابع

- عسگریان، زهرا سادات؛ سیاری، محمد و اثنی عشری، محمود (۱۳۹۸). اثر پرتودهی با نور UV-C بر کاهش سرمازدگی میوه خرمالو رقم کاشان طی انبارمانی. *مجله تولیدات گیاهی*، ۴۲(۲)، ۱۸۱-۱۹۴.
- حسینی فرهی، مهدی؛ رادی، محسن؛ باقری، فرود و جمشیدی، احسان (۱۳۹۷). بررسی ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی پس از برداشت میوه توت‌فرنگی با کاربرد ژل آلوئه‌ورا، استیک اسید و پرتو فرابنفش بی. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۱۹(۱)، ۹۹-۱۱۴.
- Abdipour, M., Hosseinfarahi, M., & Naseri, N. (2019). Combination method of UV-B and UV-C prevents post-harvest decay and improves organoleptic quality of peach fruit. *Scientia Horticulturae*, 256, 108564.
- Abdipour, M., Sadat Malekhossini, P., Hosseinfarahi, M., & Radi, M. (2020). Integration of UV irradiation and chitosan coating: A powerful treatment for maintaining the postharvest quality of sweet cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, 264, 109197.
- Ali, L. M., Ahmed, A. E. R. A. E. R., Hasan, H. E. S., Suliman, A. E. R. E., & Saleh, S. S. (2022). Quality characteristics of strawberry fruit following a combined treatment of laser sterilization and guava leaf-based chitosan nanoparticle coating. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 1-13.
- Alothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009a). Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce. *Trends in Food Science & Technology*, 20(5), 201-212.
- Alothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009b). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 512-516.
- Amatori, S., Mazzoni, L., Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Gasparrini, M., Forbes-Hernandez, T. Y., Afrin, S., Errico Provenzano, A., Persico, G., Mezzetti, B., Amici, A., Fanelli, M., & Battino, M. (2016). Polyphenol-rich strawberry extract (PRSE) shows in vitro and in vivo biological activity against invasive breast cancer cells. *Scientific Reports*, 6(1), 30917.
- Amiri, A., Mortazavi, S. M. H., Ramezani, A., Mahmoodi Sourestani, M., Mottaghipisheh, J., Iriti, M., & Vitalini, S. (2021). Prevention of decay and maintenance of bioactive compounds in strawberry by application of UV-C and essential oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6), 5310-5317.

- Araque, L. C. O., Rodoni, L. M., Darré, M., Ortiz, C. M., Civello, P. M., & Vicente, A. R. (2018). Cyclic low dose UV-C treatments retain strawberry fruit quality more effectively than conventional pre-storage single high fluence applications Enhanced Reader. *LWT*, 92, 304–311.
- Asgareyan, Z. S., Sayyari, M., & Asnaashari, M. (2019). The Effect of UV-C Radiation on Alleviating Chilling Injuries of Persimmon Fruit Cv. Kashan During Cold Storage. *Plant Production*, 42(2), 181-194. [In Persian]
- Barikloo, H., & Ahmadi, E. (2018). Effect of nanocomposite-based packaging and chitosan coating on the physical, chemical, and mechanical traits of strawberry during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1795–1817.
- Becerra-Moreno, A., Redondo-Gil, M., Benavides, J., Nair, V., Cisneros-Zevallos, L., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2015). Combined effect of water loss and wounding stress on gene activation of metabolic pathways associated with phenolic biosynthesis in carrot. *Frontiers in Plant Science*, 6(OCTOBER), 150592.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. In *LWT - Food Science and Technology* (Vol. 28, Issue 1).
- Bravo, S., García-Alonso, J., Martín-Pozuelo, G., Gómez, V., Santaella, M., Navarro-González, I., & Periago, M. J. (2012). The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopene,  $\beta$ -carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. *Food Research International*, 49(1), 296–302.
- Caner, C., Aday, M. S., & Demir, M. (2008). Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology*, 227(6), 1575–1583.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3).
- Cisneros-Zevallos, L., Jacobo-Velázquez, D. A., Pech, J. C., & Koiwa, H. (2014). Signaling Molecules Involved in the Postharvest Stress Response of Plants: Quality Changes and Synthesis of Secondary Metabolites. *Handbook of Plant and Crop Physiology, Third Edition*, 259–276.
- Damdani, A., Al-Zahrani, A., Salah, L., & Salama, K. N. (2023). Effect of combining UV-C irradiation and vacuum sealing on the shelf life of fresh strawberries and tomatoes. *Journal of Food Science*, 88(2), 595–607.
- Darvishi, S., Fatemi, A., & Davari, K. (2012). Keeping Quality of Use of Fresh “Kurdistan” Strawberry by UV-C Radiation. *World Applied Sciences Journal*, 17(7), 826–831.
- El Ghaouth, A., Wilson, C. L., & Callahan, A. M. (2003). Induction of Chitinase,  $\beta$ -1,3-Glucanase, and Phenylalanine Ammonia Lyase in Peach Fruit by UV-C Treatment. *Phytopathology*, 93(3), 349–355.
- Erkan, M., Wang, S. Y., & Wang, C. Y. (2008). Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 48(2), 163–171.
- Formica-Oliveira, A. C., Martínez-Hernández, G. B., Díaz-López, V., Artés, F., & Artés-Hernández, F. (2017). Use of postharvest UV-B and UV-C radiation treatments to revalorize broccoli byproducts and edible florets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, 77–83.
- García, M. A., Ventosa, M., Díaz, R., Falco, S., & Casariego, A. (2014). Effects of Aloe vera coating on postharvest quality of tomato. *Fruits*, 69(2), 117–126.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930.
- Gol, N. B., Chaudhari, M. L., & Rao, T. V. R. (2015). Effect of edible coatings on quality and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 78–91.

- Gonzalez-Aguilar, G. A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R. R., De La Rosa, L. A., Rodrigo-Garcia, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2008). Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(1), 91–101.
- González-Aguilar, G. A., Villegas-Ochoa, M. A., Martínez-Téllez, M. A., Gardea, A. A., & Ayala-Zavala, J. F. (2007). Improving Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Mangoes Treated with UV-C. *Journal of Food Science*, 72(3), S197–S202.
- González-Aguilar, G. A., Zavaleta-Gatica, R., & Tiznado-Hernández, M. E. (2007). Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 45(1), 108–116.
- Gumede, M., Mditshwa, A., Tesfay, S. Z., Magwaza, L. S., & Mbili, N. C. (2020). The effect of ozone and UV-C irradiation on strawberry postharvest quality. *Acta Horticulturae*, 1275, 15–22.
- Hakguder Taze, B., & Unluturk, S. (2018). Effect of postharvest UV-C treatment on the microbial quality of 'Şalak' apricot. *Scientia Horticulturae*, 233, 370–377.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S. W., & Traber, M. G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria × ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*, 33(1), 67–78.
- Hosseini, F. S., Akhavan, H. R., Maghsoudi, H., Hajimohammadi-Farimani, R., & Balvardi, M. (2019). Effects of a rotational UV-C irradiation system and packaging on the shelf life of fresh pistachio. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(11), 5229–5238.
- HosseiniFarahi, M., Radi, M., Bagheri, F., & Jamshidi, E. (2018). Evaluation of postharvest quality and organoleptic characteristics of Strawberry with application of Aloe vera gel, acetic acid and UV-B irradiation. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 19(1), 99-114. [In Persian]
- Hu, X., Chen, Y., Wu, X., Liu, W., Jing, X., Liu, Y., Yan, J., Liu, S., & Qin, W. (2022). Combination of calcium lactate impregnation with UV-C irradiation maintains quality and improves antioxidant capacity of fresh-cut kiwifruit slices. *Food Chemistry: X*, 14, 100329.
- Idzwana, M. I. N., Chou, K., Sen, Shah, R. M., & Soh, N. C. (2020). The Effect of Ultraviolet Light Treatment In Extend Shelf Life And Preserve The Quality of Strawberry (*Fragaria x ananassa*) cv. Festival. *International Journal on Food, Agriculture and Natural Resources*, 1(1), 15–18.
- Jacobo-Velázquez, D. A., Martínez-Hernández, G. B., Del C. Rodríguez, S., Cao, C. M., & Cisneros-Zevallos, L. (2011). Plants as Biofactories: Physiological Role of Reactive Oxygen Species on the Accumulation of Phenolic Antioxidants in Carrot Tissue under Wounding and Hyperoxia Stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(12), 6583–6593.
- Kataoka, I., Sugiyama, A., & Beppu, K. (2005). Involvement of UV rays in sweet cherry fruit coloration during maturation. *Acta Horticulturae*, 667, 461–466.
- Li, D., Luo, Z., Mou, W., Wang, Y., Ying, T., & Mao, L. (2014). ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin contents of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 90, 56–62.
- Li, M., Li, X., Han, C., Ji, N., Jin, P., & Zheng, Y. (2019). UV-C treatment maintains quality and enhances antioxidant capacity of fresh-cut strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 156, 110945.
- Lichtscheidl- Schultz, I. (1985). Effects of UV-C and UV-B on cytomorphology and water permeability of inner epidermal cells of *Allium cepa*. *Physiologia Plantarum*, 63(3), 269–276.

- Lin, Y., Huang, R., Sun, X., Yu, X., Xiao, Y., Wang, L., Hu, W., & Zhong, T. (2021). The p-Anisaldehyde/ $\beta$ -cyclodextrin inclusion complexes as fumigation agent for control of postharvest decay and quality of strawberry. *Food Control*, 130, 108346.
- Liu, C. hong, Cai, L. yun, Lu, X. ying, Han, X. xu, & Ying, T. jin. (2012). Effect of Postharvest UV-C Irradiation on Phenolic Compound Content and Antioxidant Activity of Tomato Fruit During Storage. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(1), 159–165.
- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H., & Liu, J. (2014). Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. *Scientia Horticulturae*, 176, 45–53.
- Lu, Y., Li, D., Li, L., Belwal, T., Xu, Y., Lin, X., Duan, Z., & Luo, Z. (2020). Effects of elevated CO<sub>2</sub> on pigment metabolism of postharvest mandarin fruit for degreening. *Food Chemistry*, 318, 126462.
- Maharaj, R., Arul, J., & Nadeau, P. (2014). UV-C irradiation effects on levels of enzymic and non-enzymic phytochemicals in tomato. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21, 99–106.
- Maurer, L. H., Bersch, A. M., Santos, R. O., Trindade, S. C., Costa, E. L., Peres, M. M., Malmann, C. A., Schneider, M., Bochi, V. C., Sautter, C. K., & Emanuelli, T. (2017). Postharvest UV-C irradiation stimulates the non-enzymatic and enzymatic antioxidant system of 'Isabel' hybrid grapes (*Vitis labrusca* × *Vitis vinifera* L.). *Food Research International*, 102, 738–747.
- Mercier, J., Baka, M., Reddy, B., Corcuff, R., & Arul, J. (2001). Shortwave ultraviolet irradiation for control of decay caused by *Botrytis cinerea* in bell pepper: Induced resistance and germicidal effects. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(1), 128–133.
- Mohammadi, A., Shahabian, M., Ramezanpour, M. R., & Hajivand, S. (2022). Evaluation of the Effects of Calcium Nitrate and Potassium Phosphite on the Storage Life and Some Quality Traits of Thomson Navel Orange. *Plant Productions*, 45(2), 181–192.
- Muhammad, I., Ashiru, S., Ibrahim, I., Kanoma, a I., Sani, I., & Garba, S. (2014). Effect of ripening stage on vitamin C content in selected fruits. *International Journal of Agriculture Forestry and Fisheries*, 2(3), 60–65.
- Nadim, Z., Ahmadi, E., Sarikhani, H., & Amiri Chayjan, R. (2015). Effect of methylcellulose-based edible coating on strawberry fruit's quality maintenance during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(1), 80–90.
- Nasirzadeh, M. (2010). *Influence of Postharvest Application of Polyamines on Reducing Chilling Injury, Ripening and Improving the Shelf Life of Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Fruit*. Shiraz University.
- Nigro, F., Ippolito, A., & Lima, G. (1998). Use of UV-C light to reduce *Botrytis* storage rot of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 13(3), 171–181.
- Ou, C., Liu, Y., Wang, W., & Dong, D. (2016). Integration of UV-C with antagonistic yeast treatment for controlling post-harvest disease and maintaining fruit quality of *Ananas comosus*. *BioControl*, 61(5), 591–603.
- Pan, Y. G., & Zu, H. (2012). Effect of UV-C Radiation on the Quality of Fresh-cut Pineapples. *Procedia Engineering*, 37, 113–119.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., & Howard, L. (2008). Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 280–285.
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., & Scortichini, M. (2015). Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*, 4(4), 501–523.



- Petrov, V., Hille, J., Mueller-Roeber, B., & Gechev, T. S. (2015). ROS-mediated abiotic stress-induced programmed cell death in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6(FEB), 125003.
- Prajapati, U., Asrey, R., Varghese, E., Singh, A. K., & Pal Singh, M. (2021). Effects of postharvest ultraviolet-C treatment on shelf-life and quality of bitter melon fruit during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100665.
- Promyou, S. (2012). Effect of ultraviolet-C (UV-C) illumination on postharvest quality and bioactive compounds in yellow bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.) during storage. *African Journal of Agricultural Research*, 7(28).
- Promyou, S., & Supapvanich, S. (2012). Effect of ultraviolet-C (UV-C) illumination on postharvest quality and bioactive compounds in yellow bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.) during storage. *African Journal of Agricultural Research*, 7(28), 4084–4096.
- Rabelo, M. C., Bang, W. Y., Nair, V., Alves, R. E., Jacobo-Velázquez, D. A., Sreedharan, S., de Miranda, M. R. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2020). UVC light modulates vitamin C and phenolic biosynthesis in acerola fruit: role of increased mitochondria activity and ROS production. *Scientific Reports*, 10(1), 21972.
- Rostami, M., Shokouhian, A., & Mohebodini, M. (2022). Effect of humic acid, nitrogen concentrations and application method on the morphological, yield and biochemical characteristics of strawberry “Paros.” *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 203–214.
- Santin, M., Lucini, L., Castagna, A., Chioldelli, G., Hauser, M. T., & Ranieri, A. (2018). Post-harvest UV-B radiation modulates metabolite profile in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 127–134.
- Sari, L. K., Setha, S., & Naradisorn, M. (2016). Effect of UV-C irradiation on postharvest quality of ‘Phulae’ pineapple. *Scientia Horticulturae*, 213, 314–320.
- Scattino, C., Castagna, A., Neugart, S., Chan, H. M., Schreiner, M., Crisosto, C. H., Tonutti, P., & Ranieri, A. (2014). Post-harvest UV-B irradiation induces changes of phenol contents and corresponding biosynthetic gene expression in peaches and nectarines. *Food Chemistry*, 163, 51–60.
- Severo, J., de Oliveira, I. R., Tiecher, A., Chaves, F. C., & Rombaldi, C. V. (2015). Postharvest UV-C treatment increases bioactive, ester volatile compounds and a putative allergenic protein in strawberry. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 685–692.
- Shama, G. (2007). Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 1–8.
- Shen, Y., Sun, Y., Qiao, L., Chen, J., Liu, D., & Ye, X. (2013). Effect of UV-C treatments on phenolic compounds and antioxidant capacity of minimally processed Satsuma mandarin during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 50–57.
- Sheng, K., Zheng, H., Shui, S. S., Yan, L., Liu, C., & Zheng, L. (2018). Comparison of postharvest UV-B and UV-C treatments on table grape: Changes in phenolic compounds and their transcription of biosynthetic genes during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 138, 74–81.
- Singelton, V. L., & Rossi, J. R. (1965). Calometry of total phenolics with phosphotungstic-phosphomolybdic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Singh, C., Dhamsaniya, N. K., Kumar, P., Rathod, J., & Dhamsaniya, K. (2022). Effect of ultraviolet-c radiation processing on physical and microbial properties of horticulture produce. *The Pharma Innovation Journal*, 11(6), 1798–1804.
- Sousa-Gallagher, M. J., Mahajan, P. V., & Mezdad, T. (2013). Engineering packaging design accounting for transpiration rate: Model development and validation with strawberries. *Journal of Food Engineering*, 119(2), 370–376.

- Sripong, K., Jitareerat, P., & Uthairatanakij, A. (2019). UV irradiation induces resistance against fruit rot disease and improves the quality of harvested mangosteen. *Postharvest Biology and Technology*, 149, 187–194.
- Sturm, K., Koron, D., & Stampar, F. (2003). The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry*, 83(3), 417–422.
- Tanada-Palmu, P. S., & Grosso, C. R. F. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36(2).
- Wang, C. Y., Chen, C. T., & Wang, S. Y. (2009). Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. *Food Chemistry*, 117(3), 426–431.
- Wargent, J. J. (2016). UV LEDs in horticulture: From biology to application. *VIII International Symposium on Light in Horticulture*, 1134, 25–32.
- Xu, F., & Liu, S. (2017). Control of Postharvest Quality in Blueberry Fruit by Combined 1-Methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C Irradiation. *Food and Bioprocess Technology*, 10(9), 1695–1703.
- Yang, J., Li, B., Shi, W., Gong, Z., Chen, L., & Hou, Z. (2018). Transcriptional Activation of Anthocyanin Biosynthesis in Developing Fruit of Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) by Preharvest and Postharvest UV Irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(42), 10931–10942.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., González-Reza, R. M., Cornejo-Villegas, M. A., Leyva-Gómez, G., & Urbán-Morlán, Z. (2021). Effects of UV-C and edible nano-coating as a combined strategy to preserve fresh-cut cucumber. *Polymers*, 13(21), 3705.
- Zhang, Q., Yang, W., Liu, J., Liu, H., Lv, Z., Zhang, C., Chen, D., & Jiao, Z. (2021). Postharvest UV-C irradiation increased the flavonoids and anthocyanins accumulation, phenylpropanoid pathway gene expression, and antioxidant activity in sweet cherries (*Prunus avium* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 175, 111490.
- Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). UV-C treatment controls brown rot in postharvest nectarine by regulating ROS metabolism and anthocyanin synthesis. *Postharvest Biology and Technology*, 180, 111613.
- Zhang, Y., Li, S., Deng, M., Gui, R., Liu, Y., Chen, X., Lin, Y., Li, M., Wang, Y., He, W., Chen, Q., Zhang, Y., Luo, Y., Wang, X., & Tang, H. (2022). Blue light combined with salicylic acid treatment maintained the postharvest quality of strawberry fruit during refrigerated storage. *Food Chemistry: X*, 15, 100384.
- Zhao, H., Wang, B., Cui, K., Cao, J., & Jiang, W. (2019). Improving postharvest quality and antioxidant capacity of sweet cherry fruit by storage at near-freezing temperature. *Scientia Horticulturae*, 246, 68–78.
- Zhou, Z., Zuber, S., Cantergiani, F., Sampers, I., Devlieghere, F., & Uyttendaele, M. (2018). Inactivation of Foodborne Pathogens and Their Surrogates on Fresh and Frozen Strawberries Using Gaseous Ozone. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 399284.



## Extended Abstract

# The effect of staged ultraviolet C radiation on some qualitative parameters and antioxidant activity of strawberry fruits cv. Paros during storage period

### Introduction

Strawberries (*Fragaria × ananassa*) are widely consumed because of their excellent organoleptic properties, high bioactive compound content, and high antioxidant content. However, their postharvest life is short due to their relatively high metabolic activity, sensitivity to fungal decay, and susceptibility to water loss. Also, they are susceptible to mechanical injuries owing to their soft texture and lack of a protective rind. Ultraviolet-C (UV-C) is considered a safe, effective, and economical treatment that can be used to maintain the postharvest quality of fruit and vegetables during storage. Low-dose UV-C treatments have been reported to delay senescence, induce resistance to pathogens, maintain fruit flavor, and prolong the length of time produce can be stored with optimal quality. The aim of this study was to investigate the effect of staged application of UV-C irradiation on the concentration of antioxidant compound and control of strawberry fruit decay, as well as its role on the maintaining of strawberry quality during storage for 14 days at 4°C.

### Materials and methods

Strawberry (*Fragaria × ananassa* cv. Paros) fruits were harvested at commercial ripeness time (80% of the surface red color), from an organic farm in Kordestan province and transported to the horticultural science laboratory of Bu Ali Sina University. Fruits were selected for uniformity in size and weight, and lack of defects then treated under staged UV-C irradiation treatments (single-staged, double-staged and multi-staged) and control treatment that didn't receive any irradiation, and packed for 14 days in polyethylene boxes at 4°C and 85–90% relative humidity. The single-staged UV-C was applied in 4kJ/m<sup>2</sup> at the beginning of the experiment, the double-staged UV-C for 2 kJ/m<sup>2</sup> in the 0 and 4 days of storage and the multi-staged UV-C for 1 kJ/m<sup>2</sup> in 0, 2, 4 and 6 days of storage. Then, some of the qualitative and bioactive compound levels were measured at 0, 7 and 14 days of storage period. In order to conduct a more precise examination of the effect of staged UV-C irradiation on the qualitative characteristics and bioactive compounds of strawberries, the fruits were kept inside the morgue until the 14th day. The measurements of qualitative and phytochemical traits were done at 0, 7 and 14 days of storage.

### Results and Discussion

The findings of present study indicated that at the end of the 14-day storage period, the multi-staged UV-C radiation method proved to be the most efficient in preserving the quality of the fruit. In comparison to the control group, the multi-staged UV-C treatment exhibited a reduction of 55.17% in weight loss and 72.73% in decay. Furthermore, this treatment demonstrated superior retention of fruit firmness and titratable acidity, with values 148% and 64% higher than the control, respectively. Although there were no significant variations in pH levels among the UV-C treatments by the end of storage, the UV-C-treated fruits displayed higher pH values than the control group. Towards the end of the storage period, the multi-staged UV-C treatment resulted in notable increases in various bioactive compounds. In contrast to the control group, this treatment elevated the vitamin C content by 61.65%, total phenol content by 49.44%, and antioxidant activity by 22.92%. The single-staged UV-C radiation method also proved effective in enhancing specific phytochemicals. On the 14th day of storage, it increased the total flavonoid and anthocyanin content by 51% and 111% more than the control group, respectively. In conclusion, the multi-staged UV-C radiation approach had the most significant overall impact on improving bioactive compounds and preserving the quality of strawberry fruit during storage. Additionally, the double-staged UV-C treatment exhibited more favorable outcomes compared to the single-staged treatment.

### Conclusion

Our results showed that the fruits treated with staged UVC irradiation had the highest amount of titratable acidity, vitamin C, total phenol, fruit firmness and the lowest amount of weight loss, total soluble solids, TSS/TA, and decay compared to the control fruits. Collectively, our results indicated that a multi-staged UV-C treatment can be used as an effective method to maintain the quality of strawberry fruit during storage. Given the hormetic property of UV-C radiation during storage, which induces beneficial responses in various horticultural products, it appears that the repetition of this treatment throughout the storage period can amplify the effects of this treatment, leading to better

results compared to the single-staged treatment. This requires further investigation of the enzymatic and molecular mechanisms involved in this process.

وید استاد نشده