



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

Mehnoosh Hashemi¹ , Mohammad Sayyari^{2✉} , Morteza Soleimani Aghdam³ , Ali Azizi⁴ , Vahideh Mahdavi⁵

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

E-mail: mehnoosh.hashemi2016@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University,

Hamedan, Iran. E-mail: m.sayyari@basu.ac.ir

3. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

E-mail: soleimaniaghdam@eng.ikiu.ac.ir

4. Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

E-mail: ali.azizi.777@gmail.com

5. Pesticide Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. E-mail: v.mahdavi@areeo.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 15 May 2024 Received in revised form: 5 August 2024 Accepted: 6 October 2024 Published online: Winter 2024 Keywords: Anthocyanin, Decay, Firmness, Storage life, Total phenol.	This study aimed to investigate the staged application of ultraviolet C radiation (UV-CR) on some qualitative and phytochemical characteristics of strawberry fruit cv. 'Paros' for a 14-day storage period at 4°C and 85-90% relative humidity. The experiment was conducted in 2022 as a factorial based on a completely randomized design (CRD) with two main factors: the staged application of UV-CR at an intensity of 4 kJ/m² (a single stage, a double stage, multiple stages, and control) as well as the duration of storage (0, 7, and 14 days). At the end of the 14-day storage period, the multiple stages of UV-CR reduced fruit weight (55.17%) and fruit decay (72.73%). Furthermore, the multiple stages of UV-CR, as compared to the control, significantly maintained fruit's firmness (148%), titratable acidity (64%), vitamin C (61.65%), total phenolic content (49.44%), and antioxidant activity (22.92%). In addition, no significant difference was found between UV-CR treatments in terms of the pH level at the end of storage. Compared to the control, the single stage of UV-CR increased total flavonoid (51%) and anthocyanin (111%). Moreover, UV-CR remarkably reduced the value of L* in comparison to the multiple stages of UV-CR. Besides, the multiple stages of UV-CR increased the value of a* and hue angle, and also significantly enhanced bioactive compounds and maintained the quality of strawberries, as compared to the two other stages of UV-CR (i.e., single and double stages of UV-CR).
Cite this article: Hashemi, M., Sayyari, M., Soleimani Aghdam, M., Azizi, A. & Mahdavi, V. (2024). The study of defensive responses to drought stress in some grape cultivars (<i>Vitis vinifera</i> L.). <i>Iranian Journal of Horticultural Science</i>, 55 (4), 655-678. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376357.2174	
 © The Author(s). DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376357.2174 Publisher: The University of Tehran Press.	

Extended Abstract

Introduction

Strawberry (*Fragaria × ananassa*) is widely consumed because of its outstanding organoleptic characteristics, bioactive compound, and antioxidant activity. However, its postharvest life is short due to some factors such as relatively high metabolic activity, sensitivity to fungal decay, and susceptibility to water loss. In addition, it is susceptible to mechanical injuries, resulted from its soft texture and lack of a protective rind. Ultraviolet-C radiation (UV-CR) is generally considered as a safe, effective, and economical method to maintain the postharvest's quality of fruit and vegetables during cold storage and shelf life. The low-dose of UV-CR has been previously reported to be effective on delaying senescence, inducing resistance to pathogens, maintaining fruit flavor, and prolonging the length of time at which fruit can be qualitatively stored. The aim of this study was to investigate the effect of staged application of UV-CR on: 1) evaluating antioxidants' activity, 2) controlling fruit's decay, and 3) maintaining quality of strawberry's fruit at a 14-day storage period.

Materials and Methods

First, strawberry (*Fragaria × ananassa* cv. Paros) was harvested at a commercial ripeness time (the time at which 80% of the fruit surface turning into red), from an organic farm in Kurdistan Province and transported to the Horticultural Science Laboratory of Bu Ali Sina University. Afterwards, the fruit of same size and weight, without any defect, was selected and subjected to different applications of UV-CR treatments. The fruit, as control, didn't receive any light radiation. Fruit was then packed in a polyethylene box and stored at 4°C and 85–90% relative humidity for a 14-day storage period. The single stage of UV-CR (4kJ/m²) was applied at the beginning of the experiment, the double stage of UV-CR (2 kJ/m²) on 0 and fourth day of storage, and the multiple stages of UV-CR (1 kJ/m²) on 0, second, fourth, and sixth day of storage. The content of some bioactive compounds was measured on 0, seventh, and 14th day of storage. Furthermore, to evaluate precisely the effect of staged application of UV-CR on the qualitative characteristics and bioactive compounds of strawberry, the fruit was retained inside a morgue until the 14th day of the storage. The qualitative and phytochemical traits were measured on 0, seventh, and 14th day of storage.

Results and Discussion

The results of this study showed that the multiple stages of UV-CR had the remarkable effect on maintaining the quality of strawberry at the end of the 14-day storage period, as compared to other UV-CR treatments. Furthermore, the multiple stages of UV-CR not only reduced fruitweight (55.17%) and decay (72.73%), but also maintained fruit firmness (148%) and titratable acidity (64%). Although no significant difference was found between UV-CR treatments in terms of fruit's pH level toward the end of storage, the pH value of all treated fruit was higher than that in the control. Toward to the end of the storage period, the multiple stages of UV-CR remarkably increased the content of bioactive compounds. Moreover, the multiple stages of UV-CR also raised vitamin C (by 61.65%), total phenol (by 49.44%), and antioxidant activity (by 22.92%). The single stage of UV-CR also was effective on enhancing the content of specific phytochemicals. For example, on the 14th day of storage, it increased the total flavonoid (51%) and anthocyanin (111%). In conclusion, the multiple stages of UV-CR had the most effect on improving bioactive compounds and preserving the quality of strawberry fruit during storage. Additionally, the double stage of UV-CR acted better than single stage of UV-CR during this experiment.

Conclusion

Our results showed that the fruit treated with different stages of UV-CR had the highest titratable acidity, vitamin C, total phenol, and fruit firmness, but the lowest weight loss, total soluble solids, TSS/TA, and decay, as compared to the control. Taken together, our findings proved the efficiency of multiple stage of UV-CR on maintaining the quality of strawberry during storage. Moreover, considering the hormetic property of UV-C radiation during storage time, and its beneficial effects on horticultural products, multiple stage application of UV-C radiation throughout the storage period can amplify its effects. However, additional research is necessary to identify the molecular and enzymatic mechanisms that are involved in this process.



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

مهنوش هاشمی^۱ | محمد سیاری^۲ | مرتضی سلیمانی اقدم^۳ | علی عزیزی^۴ | وحیده مهدوی^۵

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: mehnoosh.hashemi2016@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: m.sayyari@basu.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران. رایانامه: soleimaniaghdam@eng.ikiu.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: ali.azizi.777@gmail.com

۵. بخش تحقیقات آفتکش‌ها، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: v_mahdavi@areea.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵ تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۳ کلیدواژه‌ها: آنتوسیانین، انبارمانی، پوسیدگی، سفتی، قتل کل.	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 ۸۵-۹۰ 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 ۴ کیلو ژول بر مترمربع، 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 ۷۲/۷۳ بود. همچنین، این تیمار توانست سفتی و مقدار اسیدیت 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 را 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، تحت تیمار UV-C افزایش میزان a^* و زاویه هیو مشاهده شد که میزان این افزایش در تیمار چند مرحله‌ای بیشتر 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. تیمار دو مرحله‌ای UV-C نیز اثرات مثبت بیشتری نسبت به تیمار تک مرحله‌ای داشت.

استناد: هاشمی، مهنوش؛ سیاری، محمد؛ سلیمانی اقدم، مرتضی؛ عزیزی، علی و مهدوی، وحیده (۱۴۰۳). اثر تابش مرحله‌ای نور UV-C روی برخی پارامترهای کیفی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس در دوره انبارمانی. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۵ (۴)، ۶۷۸-۶۵۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376357.2174>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376357.2174>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

توت‌فرنگی به دلیل رنگ جذاب، طعم خوشمزه و ارزش غذایی بالا، میوه‌ای بسیار محبوب و سرشار از ویتامین‌های C، E، تیامین، ریبوفلاوین 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 برخی بیماری‌های 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 مارمولاد^۱ و ایروین^۲ در متاپونتو (ماترا)، ایتالیا، در سال ۱۹۸۹ به دست آمد (Rostami et al., 2022). باین‌حال، 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 بیش از 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 فیتوآلکسین‌ها، تحریک مکانیسم‌های دفاعی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها شده و منجر به حفظ کیفیت محصول می‌شود (Zambrano-Zaragoza et al., 2021). نور UV-C علاوه بر اثر ضد میکروبی مستقیم، از طریق افزایش تولید آنزیم‌های مرتبط با تنش، یک سیستم دفاعی گیاهی را ایجاد می‌کند (Zhang et al., 2021a). در سال‌های اخیر مزایای کاربرد دیودهای ساطع کننده نور LED فرابنفش، مانند صرفه‌جویی در انرژی، اندازه کوچک، عدم آسیب به چشم‌ها و پوست، دستکاری راحت طیف فرابنفش و عدم تولید باقیمانده جیوه سبب افزایش علاقه‌مندی به استفاده از آن در طول انبارمانی پس از برداشت شده است (Wargent, 2016).

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 (Amiri et al., 2021; Darvishi et al., 2012; Gumedé et al., 2020; M. Li et al., 2019)، اما اثرات الگوهای مختلف قرارگیری در معرض تابش UV-C در طول دوره انباری بندرت بررسی شده است. با توجه به این که مطالعه پاسخ میوه به الگوهای مختلف تابش برای فهم بهتر اثرات فیزیولوژیکی تیمارهای فتوشیمیایی پس از برداشت اهمیت زیادی دارد، در پژوهش حاضر به ارزیابی کاربرد مرحله‌ای تابش UV-C روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس در طول انبارمانی پرداخته شد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند درک مناسبی از بهبود کیفیت میوه توت‌فرنگی تحت اعمال تیمارهای UV-C در مقایسه با کاربرد قبل از انبار این میوه ارائه بدهد.

پیشینه پژوهش

تابش مصنوعی غیر یونیزان UV-C یک تکنولوژی نوظهور غیرحرارتی مقرون به‌صرفه 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 نموده و به‌منظور حفظ یکپارچگی و طراوت میوه‌ها و سبزی‌ها به کار می‌رود. تیمار پس از برداشت تابش UV-C در دوزهای پایین، عمر پس از

1. *Fragaria×ananassa* Duch.

2. Marmolada®Onebor

3. Irvine

برداشت محصولات باغبانی را افزایش داده و کیفیت آن‌ها را با تأخیر در رسیدگی میوه و پیری حفظ می‌کند، درحالی‌که 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 در رابطه با 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 نمود. تابش UV-C فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و بدین وسیله باعث افزایش فنل‌ها و فلاونوئیدها در گواوا و موز در طول انبارمانی پس از ۳۰ دقیقه تحت تیمار UV-C شده است (Allothman et al., 2009a, 2009b). تیمار UV-C از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی گلووتاتیون (GSH) و ترکیبات فنلی، پوسیدگی توت‌فرنگی انبارمانی شده در ۱۰ درجه سلسیوس را به‌طور معنی‌داری کاهش داده است (Erkan et al., 2008). پرتو تابشی 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 غیرکشنده UV-C سبب القاء سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، به‌عنوان پاسخ ثانویه به تنش‌های محیطی شده که نتیجه آن طولانی شدن عمر پس از برداشت و خصوصیات کیفی طیف وسیعی از میوه‌ها می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که افزایش ناگهانی سطح گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (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 (Becerra-Moreno et al., 2015; Gill & Tuteja, 2010). به‌نظر می‌رسد که تولید ROS حاصل از تیمار UV-C ممکن است در افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی دخیل باشد (Cisneros-Zevallos et al., 2015; Petrov et al., 2014). رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) به‌عنوان یک گونه واکنش‌گر اکسیژن اولیه باعث ایجاد یک آبشار واکنش شیمیایی می‌شود که منجر به تشکیل ROS 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 گلووتاتیون ردوکتاز را از طریق مکانیسم واسطه ROS در میوه‌ها افزایش می‌دهد یا خیر (Rabelo et al., 2020).

روش‌شناسی پژوهش

مواد آزمایشی

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

تیمار پی از برداشت UV-C

به منظور اعمال تیمار UV-C از اتاقک مجهز به سه عدد منبع نوری نصب شده در بالای اتاقک (۳۰ وات، با طول ۹۰ سانتی متر، مدل اُسرام، ژاپن و پیک طول موج ۲۵۴ نانومتر) استفاده شد. دیواره‌های این اتاقک با فویل آلومینیوم، به منظور ایجاد تمرکز هرچه بیشتر نور، پوشیده شد و فاصله محل قرارگیری نمونه تا لامپ به‌طور ثابت ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری شدت تابش از دستگاه UV-رادیومتر (مدل لوترون، تایوان) استفاده شد. با تغییر مدت زمان تابش، شدت‌های تابش ۱، ۲ و ۴ کیلوژول بر مترمربع محاسبه شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور انجام شد. فاکتور اول تابش UV-C در چهار سطح (شاهد، بدون تابش UV-C)، تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای با شدت ۴ کیلو ژول بر متر مربع، 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 سپس 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. این دوز از تابش، با قرار دادن میوه‌ها به مدت ۴۳۶ ثانیه در زیر لامپ‌های موردنظر بدست آمد. جهت اعمال هرچه بهتر تیمار، این مدت زمان به صورت ۲۱۸ ثانیه متمرکز بر یک طرف میوه‌ها و ۲۱۸ ثانیه متمرکز بر طرف دیگر میوه‌ها اعمال گردید. 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 در روزهای صفر و ۴ انبارمانی تحت شدت ۲ کیلوژول بر مترمربع تابش UV-C قرار گرفتند. این میزان دوز برای هر روز ۲۱۸ ثانیه بود، به عبارت دیگر ۱۰۹ ثانیه بر روی هر طرف از میوه‌ها اعمال شد. پس از تیماردهی، مجدداً میوه‌ها به سردخانه منتقل شدند. تیمار پرتو UV-C چندمرحله‌ای نیز با اعمال شدت یک کیلوژول بر مترمربع UV-C در روزهای صفر، ۲، ۴ و ۶ انبارمانی انجام شد. جهت اعمال این میزان دوز، مدت زمان ۱۰۹ ثانیه در روزهای تیماردهی در نظر گرفته شد، به عبارت دیگر ۵۴/۵ ثانیه برای هر طرف میوه. تیماردهی تابش پرتو UV-C برای سنجش صفات در روز ۶ انبارمانی صبح زود و نمونه‌برداری مربوط به روز ۷ انبارمانی در غروب روز بعد صورت گرفت، تا اثر تیمار UV-C در این روز به درستی مورد بررسی قرار گیرد. به منظور 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 شده و برای هر تکرار ۱۰ عدد میوه در هر ظرف قرار داده شد. این ظرف‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ 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 شدند. 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:

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

در این رابطه، WL نشان دهنده درصد کاهش وزن، W1 شاخص وزن اولیه میوه قبل از انبار (گرم) و W2 نیز بیانگر وزن میوه در دوره‌های انباری (۷ و ۱۴ روز) (گرم) می‌باشد.

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 ۱۰mm/s انجام شد. از هر تیمار، ۳ عدد توت‌فرنگی تقریباً هم‌اندازه و یک‌شکل انتخاب و از ناحیه استوایی بر روی صفحه ثابت دستگاه آنالیز بافت قرار گرفتند. میزان سفتی بافت میوه بر اساس نیوتن بیان شد (Barikloo & Ahmadi, 2018). درصد پوسیدگی به‌صورت 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 رفرنکتومتر دستی (مدل N1، شرکت آتاگو، ژاپن) برای تعیین مواد جامد محلول کل نمونه‌های توت‌فرنگی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس استفاده و برحسب درجه بریکس (°Brix) بیان شد. قبل از شروع کار، رفرنکتومتر با آب مقطر کالیبره گردید، و پس از هر بار قرائت به‌دقت تمیز شد تا از خطا جلوگیری شود.

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، سوئیس) اندازه‌گیری شد.^۱

فنل کل

برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل، از معرف فولین-سیوکالتیو و به روش سینگلتن و روسی (Singelton & Rossi, 1965) استفاده شد. بدین منظور، ۰/۵ گرم از بافت میوه با ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد هموژنیزه شد. پس از شیکر به مدت یک ساعت و سانترفیوژ با 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 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. با توجه به منحنی استاندارد اسید گالیک به‌دست‌آمده، 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. پس از گذشت ۵ دقیقه، ۶۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه شد و بعد از ۶ دقیقه ۲ میلی‌لیتر سود ۱ مولار به این مخلوط اضافه گردید. سپس، با استفاده از آب مقطر به حجم نهایی ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. در مرحله بعد، جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر 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). چهار گرم پوره توت‌فرنگی با ۴۰ میلی‌لیتر از مخلوط متانول-اسید کلریدریک و با نسبت ۹۹ به ۱ استخراج و به مدت ۱۰ دقیقه تحت دستگاه اولتراسوند قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه و 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. در مرحله بعد، جذب (A) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر 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:

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

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

در این رابطه، TAC معرف محتوای آنتوسیانین کل، ε نشان دهنده جذب مولی پلارگونیدین-۳-گلوکوزاید (۲۲۴۰۰)، L بیانگر عرض کووت دستگاه طیف سنجی (۱ سانتی متر)، MW شاخص وزن مولکولی پلارگونیدین-۳-گلوکوزاید (۴۳۳،۲) گرم بر مول، و DF نشان دهنده درجه رقت (۱۰) می‌باشد.

ویتامین ث

میزان ویتامین ث بر اساس روش پتریسونی 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 اسپکتروفتومتر (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 اسپکتروفتومتر 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:

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

در این رابطه، %Inhibition معرف درصد مهارکنندگی DPPH، A515 Con شاخص میزان جذب شاهد و A515 Sam بیانگر 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، ساخت کشور چین) در سه نقطه از هر میوه تعیین شد. شاخص L^* نشان‌دهنده روشنی یا تیرگی

رنگ بوده 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.

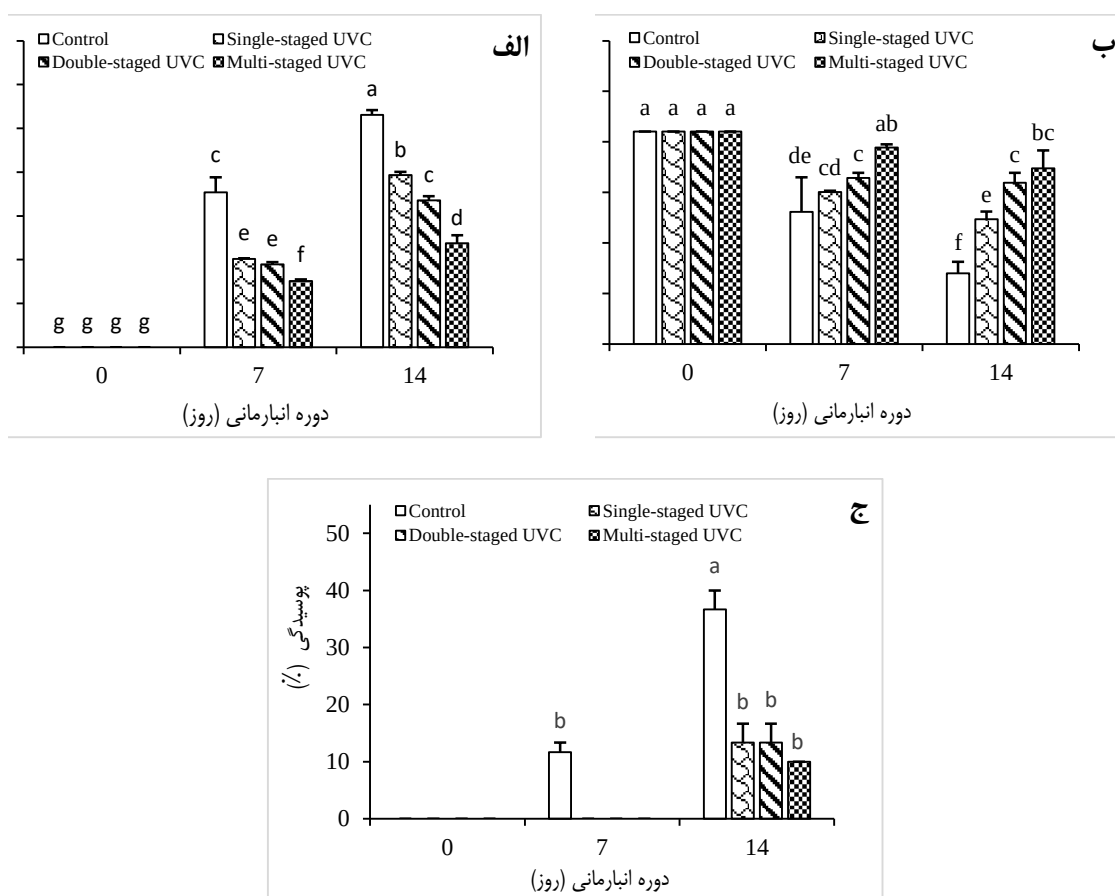
یافته‌های پژوهشی

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 نمود. 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. 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 بر 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 مرحله‌ای مختلف UV-C قرار گرفته بودند توانستند سفتی میوه‌ها را بهتر از شاهد حفظ کنند. این حفظ سفتی، تا پایان انبارمانی به همین صورت ادامه یافت، به طوری 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 نسبت به سایر تیمارهای فرابنفش بهتر عمل نمود، به طوری که در طول انبارمانی تنها ۱۷ درصد سفتی بافت میوه کاهش یافت که در مقایسه با میوه‌های شاهد (کاهش ۶۷ درصد) بسیار قابل 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. بر اساس نتایج به‌دست آمده 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 بود که 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.

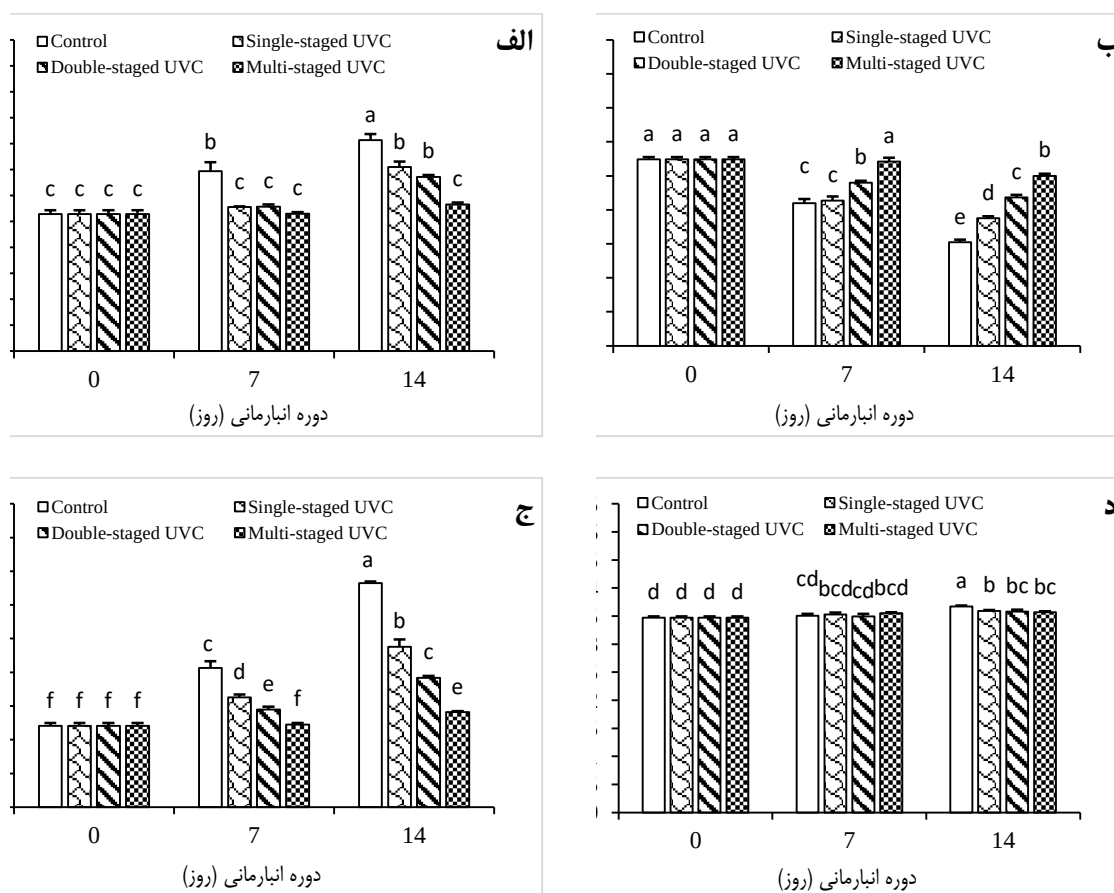
مواد جامد محلول، اسیدینه قابل تیتراسیون، شاخص طعم و pH

نتایج برهم‌کنش اثر تیمارهای مختلف UV-C بر روی میزان مواد جامد محلول کل، در طول مدت انبارمانی میوه توت‌فرنگی نشان داد که مقدار این صفت در همه تیمارها (پرتوتایی 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 به‌ترتیب 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) به‌دست 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، هرچند 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. همچنین، میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار استاندارد می‌باشند.

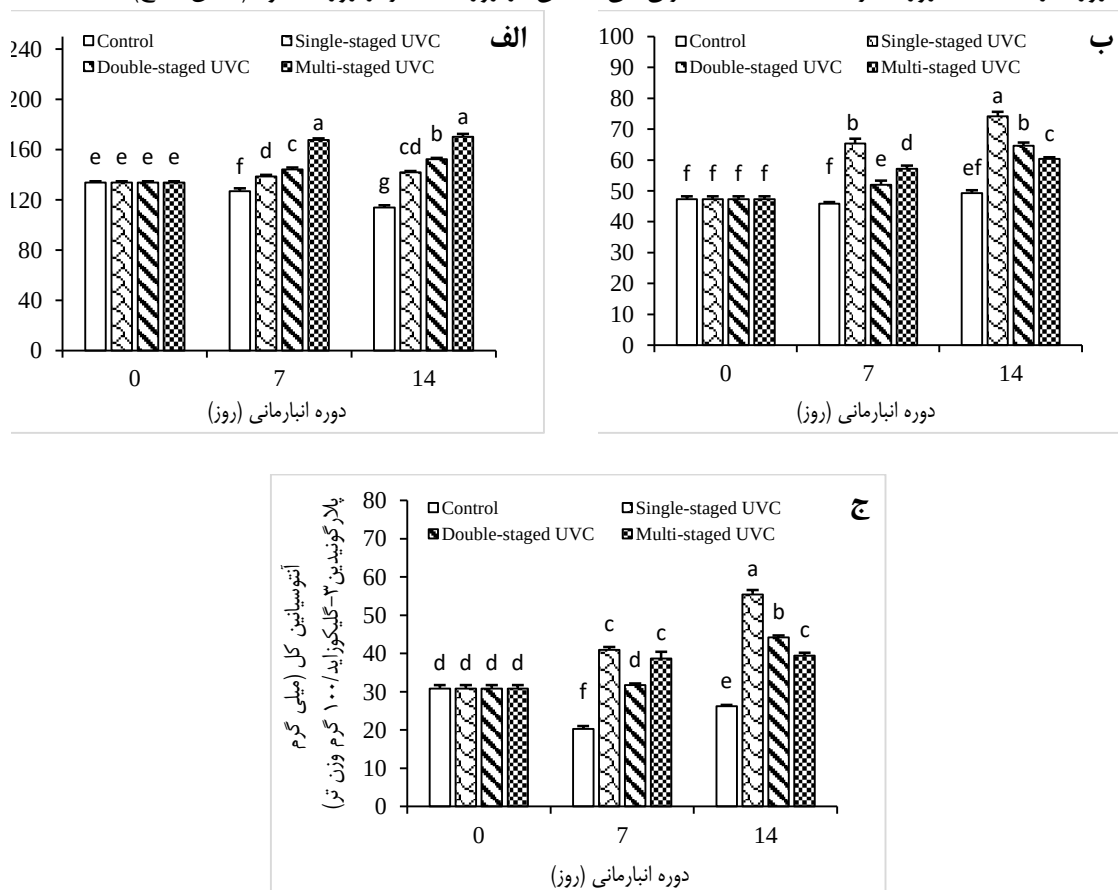
محتوای فنل کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین کل

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 وزن 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 میلی گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) را در مقایسه با تیمار دو مرحله‌ای (۵۲ میلی گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) و چند مرحله‌ای UV-C (۵۷/۱۷ میلی گرم 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. 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 میلی گرم پلارگونیدین ۳-گلیکوزاید در ۱۰۰ گرم وزن تر بود، در حالی که تیمار شاهد با میانگین ۲۶/۲۰ میلی گرم 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).

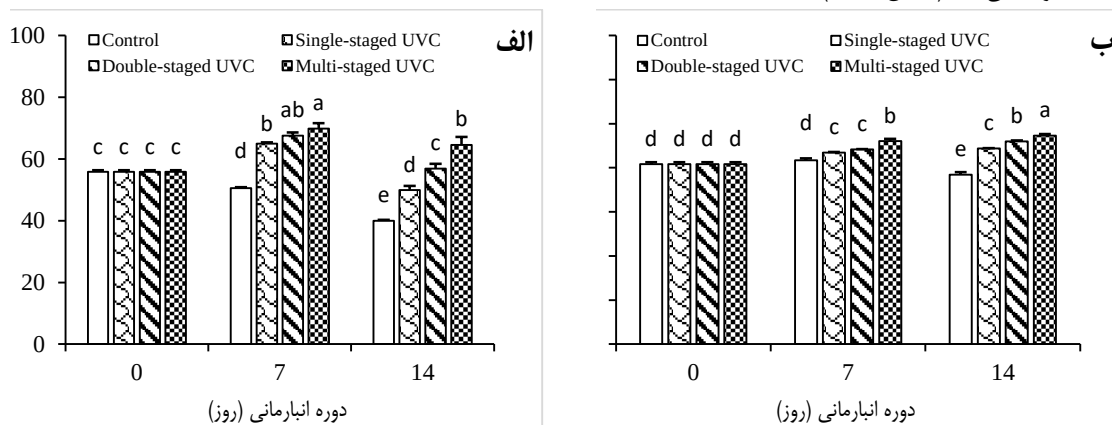


شکل ۳. تأثیر برهم‌کنش تیمار UV-C و دوره انبارمانی بر غلظت فنل کل (الف)، فلاونوئید کل (ب) و آنتوسیانین کل (ج) میوه توت‌فرنگی رقم پاروس. شاهد (Control)، تابش UV-C تک مرحله‌ای (Single-staged UVC)، تابش UV-C دو مرحله‌ای (Double-staged UVC) و تابش UV-C چند مرحله‌ای (Multi-staged UVC). مقادیر ستون‌های با حداقل 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 داد، 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، 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).

فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی در میوه‌های شاهد با گذشت دوره‌های انبارمانی کاهش یافت، 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 باعث افزایش ۱۵/۷۱، ۱۲/۶۶ و ۸/۶۶ درصدی فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، در مقایسه با روز صفر شدند. تابش چند مرحله‌ای UV-C با فعالیت ۹۴/۵۳ درصد بالاترین میزان را در بین دیگر تیمارها نشان داد و تفاوت معنی‌داری را 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 شده 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 به خوبی توانستند مقدار درخشندگی را در مقایسه با شاهد حفظ نموده 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 با وجودی که مقدار این شاخص در طول انبارمانی کاهش پیدا کرد، این کاهش در شاهد و 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 نیز مشاهده شد، به‌طوری 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 تفاوت معنی‌داری را از نظر آماری نشان ندادند (جدول ۱).

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

تیمار	روز انبارمانی	L^*	a^*	b^*	کروما	زاویه هیو
شاهد	۰	۳۶/۷۳ ^{ab}	۳۳/۳۱ ^{ef}	۱۰/۸۷ ^{ab}	۳۵/۰۵ ^{de}	۱۸/۰۶ ^{ab}
	۷	۳۱/۳۷ ^c	۳۴/۱۸ ^{def}	۸/۸۲ ^{abc}	۳۵/۳۰ ^{de}	۱۴/۴۷ ^{abcd}
	۱۴	۲۷/۷۸ ^d	۳۵/۴۷ ^{bcdef}	۶/۶۳ ^c	۳۶/۰۹ ^{de}	۱۰/۵۹ ^d
UV-C تک مرحله‌ای	۰	۳۸/۸۱ ^a	۲۸/۱۵ ^g	۸/۸۸ ^{abc}	۲۹/۶۴ ^f	۱۷/۴۵ ^{abc}
	۷	۳۵/۸۹ ^{ab}	۳۲/۴۸ ^f	۸/۲۰ ^{abc}	۳۳/۵۳ ^e	۱۴/۰۶ ^{abcd}
	۱۴	۳۰/۹۹ ^{cd}	۳۷/۰۱ ^{abcd}	۷/۸۲ ^{bc}	۳۷/۸۶ ^{abcd}	۱۱/۸۴ ^d
UV-C دو مرحله‌ای	۰	۳۹/۴۷ ^a	۳۳/۵۰ ^{ef}	۱۱/۳۶ ^a	۳۵/۳۸ ^{de}	۱۸/۷۵ ^a
	۷	۳۷/۴۴ ^{ab}	۳۵/۱۱ ^{cdef}	۱۱/۰۴ ^{ab}	۳۶/۸۱ ^{bcd}	۱۷/۴۳ ^{abc}
	۱۴	۳۴/۷۸ ^b	۳۸/۴۸ ^{ab}	۱۰/۰۳ ^{ab}	۳۹/۷۷ ^{ab}	۱۴/۶۱ ^{abcd}
UV-C چند مرحله‌ای	۰	۳۹/۱۱ ^a	۳۵/۹۰ ^{bcde}	۹/۷۵ ^{abc}	۳۷/۲۲ ^{abcd}	۱۵/۱۵ ^{abcd}
	۷	۳۷/۳۸ ^{ab}	۳۷/۹۹ ^{abc}	۹/۳۲ ^{abc}	۳۹/۱۴ ^{abc}	۱۳/۷۴ ^{bcd}
	۱۴	۳۶/۹۱ ^{ab}	۳۹/۴۵ ^a	۸/۹۹ ^{abc}	۴۰/۴۹ ^a	۱۲/۸۲ ^{cd}

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ 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 به‌طور 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 به‌طور غیرمستقیم کاهش وزن را مهار کند (Nasirzadeh, 2010). نقش نور UV-C در جلوگیری از کاهش وزن در میوه‌ها ممکن است به‌دلیل

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 در مورد اثر تابش UV-C در جلوگیری از کاهش وزن در برخی میوه‌ها، مانند کدو تلخ (Prajapati et al., 2021)، خرمالو (Asgareyan et al., 2019)، هلو (Abdipour et al., 2019) و پسته (Hosseini et al., 2019) با نتایج این پژوهش 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). در پژوهش حاضر، سفتی میوه‌های تحت تیمار UV-C 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). به‌طور طبیعی، سفتی میوه با گذشت دوره انبارمانی کاهش می‌یابد، اما سفتی بیشتری در نمونه تیمار شده، در مقایسه با نمونه‌های شاهد گزارش شد (Idzwana et al., 2020; Prajapati et al., 2021). تیمار UV-C با کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی و ژن‌های مرتبط با آن‌ها سفتی بافت محصولات باغبانی را بهبود می‌بخشد (Singh et al., 2022). در مطالعه‌ای که اثر تابش UV-C بر روی میوه توت‌فرنگی را نشان می‌داد، مشخص گردید که افزایش سفتی با افزایش سطح پلی آمین‌ها مرتبط بوده و مکانیسم مشابهی را با کلسیم عمل می‌کند. پلی آمین دسترسی آنزیم به دیواره سلولی را با تشکیل پیوند متقابل کاتیون با پلی ساکاریدها و اسید پکتیک محدود می‌نماید (D. Li et al., 2014). در نهایت، افزایش سفتی را به مجموعه‌ای از ژن‌های کدگذاری شده برای آنزیم‌ها و پروتئین‌های درگیر در تخریب دیواره سلولی مرتبط دانسته‌اند (Idzwana et al., 2020).

پرتو UV-C می‌تواند رشد عوامل قارچی را به میزان قابل توجهی کاهش داده 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 شده و کیفیت برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها را بهبود می‌بخشد (Nigro et al., 1998; Shama, 2007). در این مطالعه، درصد پوسیدگی میوه‌ها تحت تیمار UV-C کاهش یافت. 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 Botrytis cinerea در زخم‌های میوه با استفاده از دوزهای UV-C 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 به‌طور 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 ۱۴ به اوج خود رسید (۸/۱۳ درجه بریکس). تیمارهای UV-C به‌خوبی از افزایش مواد جامد محلول کل جلوگیری نمودند. 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 به‌طور 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 در نتیجه افزایش فعالیت آنزیمی و کاهش فشار تورژسانس است. دپلمریزه شدن پلی ساکاریدهای نامحلول در دیواره سلولی، مانند پکتین و سلولز به قندهای محلول با وزن مولکولی پایین و افزایش حلالیت 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، 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) مطابقت دارد. کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون بیشتر در میوه‌های تیمار نشده می‌تواند به دلیل استفاده از اسیدهای آلی، به عنوان ماده اولیه در متابولیسم تنفسی باشد (Gol et al., 2015). نتایج این پژوهش مطابق با نتایج پژوهش‌هایی است که در آنها تابش UV-C از کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون در میوه‌های توت‌فرنگی (Araque et al., 2018)، گیلاس شیرین (Abdipour et al., 2020) و میوه برش خورده کیوی (Hu et al., 2022) در طول انبارمانی جلوگیری نموده است. بر اساس نتایج حاضر، مقدار پی اچ میوه در تیمارهای UV-C، در طول انبارمانی افزایش پیدا کرد (شکل ۲). که نشان دهنده 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 منطبق با دیگر نتایجی است که افزایش میزان پی اچ را در طول دوره انباری توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی گزارش نموده اند (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، که مهم‌ترین پارامتر در ارزیابی کیفیت توت‌فرنگی می‌باشد، تعیین‌کننده میزان مقبولیت میوه از نظر 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) که می‌تواند به دلیل مهار سرعت تنفس، تحت تأثیر تیمار UV-C و در نتیجه حفظ اسیدیته میوه‌های توت‌فرنگی باشد. 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.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین کل میوه‌ها در طول انبارمانی افزایش پیدا کرد. 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 به دلیل مکانیسم واکنشی میوه توت‌فرنگی در برابر تنش ناشی از تابش UV-C باشد، که باعث تجمع فلاونوئیدها، به دلیل فعال شدن مسیر فنیل پروپانویید در برابر تابش UV-C، می‌شود. 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 علت کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز آنتوسیانین، یعنی فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) و آنتوسیانیدین سنتاز (ANS) 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 شده است (Zhang et al., 2021b). در مطالعات انجام‌شده بر روی توت‌فرنگی، گیلاس و بلوبری، افزایش در مقدار آنتوسیانین کل در میوه‌هایی که تحت تابش UV-C در طول انبارمانی قرار داشتند گزارش شده (Kataoka et al., 2005; Xu & Liu, 2017) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در برخی از تحقیقات انجام‌شده (Liu et al., 2014; Sripong et al., 2019) کاهش در غلظت آنتوسیانین کل در طول انبارمانی گزارش شده که با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد. این [Click or tap here to enter text](#) می‌تواند به دلیل تفاوت در دوز تابش فرابنفش و نیز 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). به عبارت دیگر، 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 دی اکسید کربن افزایش یافته که منجر به مهار اکسیداسیون اسید آسکوربیک و سطوح بالای ویتامین ث در میوه‌ها می‌شود (Abdipour et al., 2019). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که تأثیر کاربرد پس از برداشت دوزهای مختلف UV-C روی غلظت ویتامین ث در گوجه‌فرنگی و برش‌های تازه انبه کاهشی (González-Aguilar, Villegas-Ochoa, et al., 2007; Maharaj et al., 2014)، اما در فلفل دلمه‌ای زرد بدون تغییر بوده است (Promyou & Supapvanich, 2012).

محتوای فنل کل تحت تابش UV-C در طول انبارمانی افزایش پیدا نمود. در این مورد، نور UV-C چند مرحله‌ای بهتر از سایر تیمارها عمل نموده، به طوری که بالاترین درصد افزایش در این تیمار مشاهده شد. تیمار چند مرحله‌ای، با افزایش انبارمانی از ۷ به ۱۴ روز تفاوت معنی‌داری را در میزان فنل کل نشان نداد (شکل ۳. الف). برخی تحقیقات، تقویت سیگنال دهی ROSها را ناشی از اثر القاء کننده تابش UV-C در نظر گرفته و مشخص نمودند که نور UV-C سطوح ROSها را افزایش داده و در نتیجه مسیر فنیل پروپانویید را فعال می‌نماید. این فرایند، باعث تجمع ترکیبات فنلی و نیز افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برش‌های تازه توت‌فرنگی می‌شود (M. Li et al., 2019). در پژوهش حاضر نیز درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه روندی مشابه با محتوای فنل کل 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 برخی محققین (Jacobo-Velázquez et al., 2011) نشان داد که ROSها با تحریک فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم فنیل پروپانویید، بیوسنتز فنل‌ها را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، ثابت شده است که فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز (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. همچنین، فعالیت آنزیم‌ها و بیان ژن‌های دیگری مانند چالکون سنتاز، چالکون ایزومراز و پارا-کومارات لیگاز، که در مراحل اول متابولیسم فنیل پروپانویید دخیل می‌باشند تحت تیمار فرابنفش افزایش پیدا کرد (D. Li et al., 2014; Scattino et al., 2014). همچنین، تیمار UV-C ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سبب افزایش میوه‌های گرمسیری تازه و ماندارین (Allothman et al., 2009b; Shen et al., 2013)، 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) شده است. در این پژوهش، بالاترین غلظت فنل کل، ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار چند مرحله‌ای UV-C حاصل شد. 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 شده 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 میوه یکی از پارامترهای بسیار مهم در استقبال مصرف‌کنندگان از محصولات می باشد (Zhang et al., 2022). کاهش مقدار L^* به معنی ازدست‌دهی درخشندگی محصول بوده 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 نموده و در این میان، اثرات تیمار چند مرحله‌ای بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۱). تیره‌تر شدن رنگ میوه در طول انبارمانی در درجه اول به افزایش تولید آنتوسیانین‌ها و ازدست‌دهی رطوبت (کاهش وزن) نسبت داده می‌شود (Han et al., 2004). علاوه بر این، افزایش در مقدار شاخص a^* نیز سبب تیره‌تر شدن میوه، و در نتیجه بالاتر بودن محتوای آنتوسیانین‌ها خواهد شد. تیمار UV-C تک مرحله‌ای بالاترین میزان افزایش a^*

(قرمزی) را نشان داد که به نظر می‌رسد به بالابودن مقدار آنتوسیانین مربوط باشد. پارامتر رنگ b^* نیز 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، تابش نور UV-C چند مرحله‌ای باعث 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 علت ویژگی هورمونیک تابش UV-C، تکرار اعمال آن در طول انبارمانی سبب چند برابر شدن اثرات تنشی این تیمار شده و اثرات بهتری را نسبت به تیمار تک مرحله‌ای سبب می‌شود. این موضوع، نیاز به بررسی بیشتر از نظر مکانیسم آنزیمی و مولکولی دخیل در این خصوص دارد. 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 پرتو دهی 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 آلوتئورا، استیک اسید و پرتو فرابنفش بی. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۱۹(۱)، ۹۹-۱۱۴.

محمدی، امیر علی؛ شهاییان، مهرداد؛ رمضان‌پور، محمودرضا و حاجی‌وند، شکراله (۱۴۰۱). بررسی اثرات نیترات کلسیم و فسفیت پتاسیم بر عمر انباری و برخی صفات کیفی پرتقال تامسون ناول. *تولیدات گیاهی*، ۴۵(۲)، ۱۸۱-۱۹۲.

نصیر زاده، م. (۱۳۸۹). *اثر کاربرد پس از برداشت پلی‌آمین‌ها بر کاهش سرمازدگی، رسیدن میوه و افزایش ماندگاری میوه گوجه فرنگی*. (پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز، ایران).

RERERENCES

- Abdipour, M., HosseiniFarahi, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108564>
- Abdipour, M., Sadat Malekhossini, P., HosseiniFarahi, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109197>
- 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, 80. <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00343-x>
- Allothman, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2009.02.003>
- Allothman, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2009.03.004>
- Amatori, S., Mazzoni, L., Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Gasparini, M., Forbes-Hernandez, T. Y. ... & 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. <http://dx.doi.org/10.1038/srep30917>
- 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. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-021-01095-2>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.050>
- 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. <http://dx.doi.org/10.22055/ppd.2019.18805.1367> (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. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-018-9795-3>
- 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, 837. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00837>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- 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, β -carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. *Food Research International*, 49(1), 296–302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.018>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-008-0881-3>
- 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), 178-182. <http://www.fda.gov.tw/tc/includes/GetFile.ashx?id=f636694411578267719>
- 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. In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Physiology* (pp. 259-276, 3rd edition, CRC Press.
- Damdam, 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. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.16444>
- 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, β -1,3-glucanase, and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment. *Phytopathology*, 93(3), 349–355. <https://doi.org/10.1094/phyto.2003.93.3.349>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.028>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.036>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2014001>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-013-0988-9>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01394.x>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00295.x>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.01.012>
- 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. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22753.35685>
- Hakguder Taze, B. & Unluturk, S. (2018). Effect of postharvest UV-C treatment on the microbial quality of ‘Şalak’ apricot. *Scientia Horticulturae*, 233, 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.012>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.01.008>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.9763>
- 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. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807154.1397.19.1.5.5> (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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100329>
- 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. <http://dx.doi.org/10.46676/ij-fanres.v1i1.4>

- Kataoka, I., Sugiyama, A. & Beppu, K. (2005). Involvement of UV rays in sweet cherry fruit coloration during maturation. *Acta Horticulturae*, 667, 461–466. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.66>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.006>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110945>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1985.tb04264.x>
- Lin, Y., Huang, R., Sun, X., Yu, X., Xiao, Y., Wang, L., Hu, W. & Zhong, T. (2021). The p-Anisaldehyde/ β -cyclodextrin inclusion complexes as fumigation agent for control of postharvest decay and quality of strawberry. *Food Control*, 130, 108346. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108346>
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927\(12\)60794-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(12)60794-9)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.027>
- Lu, Y., Li, D., Li, L., Belwal, T., Xu, Y., Lin, X., Duan, Z. & Luo, Z. (2020). Effects of elevated CO₂ on pigment metabolism of postharvest mandarin fruit for degreening. *Food Chemistry*, 318, 126462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126462>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.10.001>
- Maurer, L. H., Bersch, A. M., Santos, R. O., Trindade, S. C., Costa, E. L., Peres, M. M., ... & 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.053>
- 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. <http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.126.1.128>
- 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. <https://doi.org/10.22055/ppd.2021.35965.1959> (In Persian).
- 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. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12227>
- 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*. (M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran). (In Persian).

- 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. <https://doi.org/10.1016/S0925-5214%2898%2900009-X>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9740-5>
- Pan, Y. G., & Zu, H. (2012). Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering*, 37, 113–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.212>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.002>
- 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. <https://doi.org/10.3390/foods4040501>
- 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, 1-16, 125003. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00069>
- 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, 1-8, 100665. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100665>
- 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. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR12.242>
- 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. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78948-1>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1080/15538362.2021.2022566>
- Santin, M., Lucini, L., Castagna, A., Chiodelli, 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. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.001>
- Sari, L. K., Setha, S. & Naradisorn, M. (2016). Effect of UV-C irradiation on postharvest quality of ‘Phulae’ pineapple. *Scientia Horticulturae*, 213, 314–320. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scientia.2016.09.049>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.077>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.041>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.11.004>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.006>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.002>
- Singelton, V. L., & Rossi, J. R. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphotungstic-phosphomolybdic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. Doi. 10.5344/ajev.1965.16.3.144
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2013.05.041>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.001>
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00124-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00124-9)
- 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), 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.12.003>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.037>
- Wargent, J. J. (2016). UV LEDs in horticulture: From biology to application. *Acta Horticulturae*, 1134, 25–32. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.4>
- 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. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-017-1935-y>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03081>
- 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. <http://dx.doi.org/10.3390/polym13213705>
- Zhang, W., Jiang, H., Cao, J. & Jiang, W. (2021a). UV-C treatment controls brown rot in postharvest nectarine by regulating ROS metabolism and anthocyanin synthesis. *Postharvest Biology and Technology*, 180, 111613. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111613>
- Zhang, Q., Yang, W., Liu, J., Liu, H., L, Z., Zhang, C., Chen, D. & Jiao, Z. (2021b). 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111490>
- 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.