

## اثر تابش اشعه فرابنفش C بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و فعالیت پاداکسایشی در پوست حبه انگور رقم بیدانه سفید

احسان رنجبران<sup>۱</sup> و منصور غلامی<sup>۲\*</sup>

۱ و ۲. دانشجوی دکتری فیزیولوژی و اصلاح درختان میوه و استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا،

همدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۳)

### چکیده

اثر پرتو فرابنفش نوع C (UV-C) به تنهایی یا در ترکیب با دیگر تیمارها بر سنتز ترکیبات ثانویه در گیاهان، اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، اثر پرتو UV-C بر برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی و فعالیت برخی آنزیم‌های دخیل در متابولیسم ترکیبات فنلی در انگور مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا حبه‌های انگور رقم بیدانه سفید در معرض پرتو UV-C در شدت‌های ۰، ۰/۸، ۱/۲ و ۴/۲ کیلوژول بر مترمربع قرار گرفته و سپس در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ روز نگهداری شدند. شدت‌های کم پرتو فرابنفش، تجمع فنل کل در پوست حبه را القا کرد. کمترین میزان فلاونوئید کل در حبه‌های تیمار شده با بالاترین شدت UV-C ( $4/2 \text{ kJm}^{-2}$ ) در روز اول مشاهده شد در حالی که حبه‌های تیمار شده با شدت کم UV-C ( $0/8 \text{ kJm}^{-2}$ ) پس از گذشت ۵ روز بیشترین میزان فلاونوئید را داشتند (۰/۴۵ میلی‌گرم روتین در گرم وزن تر). همچنین کاربرد تابش UV-C منجر به افزایش ظرفیت پاداکسایشی نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد گردید. لازم به ذکر است پرتوتابی با UV-C اثر معنی‌داری بر مقدار تانن کل پوست حبه نداشت؛ با این وجود اثر UV-C بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا لایاز (PAL) در طول مدت نگهداری قابل توجه بود. UV-C فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) را تا اوسط مدت نگهداری کنترل کرد؛ ولی در مورد آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) این رفتار وابسته به شدت UV-C بود. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد UV-C در شدت‌های پایین، روش مناسبی برای افزایش میزان ترکیبات فنلی و ظرفیت پاداکسایشی انگور تازه‌خوری رقم بیدانه سفید در طول مدت نگهداری کوتاه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پرتوتابی، تنش، ترکیبات فنلی، فعالیت آنزیمی، *Vitis vinifera*.

## Influence of UV-C irradiation on some phytochemicals and antioxidant activities in 'Sultana' table grape skin

Ehsan Ranjbaran<sup>1</sup> and Mansour Gholami<sup>2\*</sup>

1, 2. Ph. D. Candidate and Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(Received: Apr. 21, 2018 - Accepted: Aug. 25, 2018)

### ABSTRACT

The effect of UV-C irradiation, either alone or in combination with other treatments, on the biosynthesis of secondary compounds in plants has been recently become a matter of interest. In this study, the influence of UV-C light on some phytochemical traits and activity of enzymes involved in phenolic metabolism in grape was investigated. At first, the berries of table grape cv. Sultana were subjected to UV-C irradiation in different doses of 0 (control), 0.8, 1.2, and 4.2  $\text{kJm}^{-2}$ , then they were kept at 15°C for 6 days. UV-C low doses induced total phenol in the berry skin. The lowest flavonoid content was observed in berries subjected to the highest dose of UV-C ( $4.2 \text{ kJm}^{-2}$ ) on the first day, whereas those irradiated by the low dose of UV-C ( $0.8 \text{ kJm}^{-2}$ ) had the most flavonoid content after 5 days (0.45 mg Rutin/g FW). Also, UV-C application improved antioxidant capacity of treated samples in comparison with control. It should be noted that UV-C irradiation had no effect on total tannin content of the berry skin. However, the effect of UV-C radiation on phenylalanine amonalyase (PAL) activity was remarkable during storage. The UV-C restricted the POD activity up to the middle of storage. However, in terms of polyphenol oxidase (PPO), this behavior was dosage-dependent. The results showed that UV-C application at the low doses is an appropriate way to increase phenolic content and antioxidant capacity of table grapes cv. Sultana during limited storage time.

**Keywords:** Enzyme activity, irradiation, phenolic compound, *Vitis vinifera*.

\* Corresponding author E-mail: mgholami@basu.ac.ir

### مقدمه

تنوع زیادی از ترکیبات فنلی در گیاهان وجود دارد. این ترکیبات متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که به‌طور عمده در حفظ گیاه در برابر عوامل زنده و غیرزنده نقش دارند. آنها در مسیر بیوسنتزی فنیل پروپانوئیدی که از پیش‌ماده فنیل‌آلانین آغاز می‌شود تولید می‌شوند. PAL آنزیم کلیدی است که اولین مرحله از بیوسنتز فنل‌ها، یعنی تبدیل فنیل‌آلانین به سینامیک اسید را کاتالیز می‌کند (Portu et al., 2016).

ترکیبات پلی‌فنلی به چند دلیل، هم برای سلامتی انسان و هم گیاه مهم هستند. اول این‌که آنها گیاهان را در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی محافظت می‌کنند. در واقع برخی از این ترکیبات فقط در زمان اعمال تنش تولید می‌شوند که از آن جمله می‌توان به فیتوالکسین‌ها<sup>۱</sup> اشاره کرد که به‌طور ویژه در در مکانیزم‌های دفاعی شرکت دارند و پس از حمله عوامل بیماری‌زا و آفات یا آسیب مکانیکی تولید می‌شوند (Cantos et al., 2003). دوم این‌که بسیاری از این متابولیت‌ها، مسوول ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی محصولات گیاهی می‌باشند. برای مثال آنتوسیانین‌ها<sup>۲</sup> که رنگدانه‌های مسوول رنگ انواع مختلفی از میوه‌ها، گل‌ها و برگ‌ها هستند (Harborne & Williams, 2000) و فلاوان-۳-اول‌ها<sup>۳</sup> که پلی‌فنل‌هایی هستند که در تلخی و گسی چای و انگور نقش دارند (Haslam et al., 1988; Noble, 1994). سوم این‌که این ترکیبات منابع منحصر بفردی برای مواد صنعتی به شکل افزودنی‌های غذایی، مواد دارویی و طعم‌دهنده می‌باشند (Zhao et al., 2005). آخر این‌که به‌خاطر فعالیت پاداکسایشی، این ترکیبات برای سلامتی انسان مفید می‌باشند. پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که مصرف محصولات غنی از پلی‌فنل‌ها، اثرات مفیدی بر قلب و عروق خواهد داشت و تا حدودی فعالیت بازدارنده در برابر سرطان دارد. همچنین اثرات مفید آنها بر بیماری آلزایمر و سایر بیماری‌ها گزارش شده است (Leifert & Abeywardena, 2007).

2008; Pezzuto, 2008; Crozier et al., 2009; de Pascual-Teresa et al., 2010). در انگور انواع اصلی ترکیبات فنلی شامل اسیدهای فنلی، استیلبن‌ها و فلاونوئیدها (آنتوسیانین‌ها، فلاونونول‌ها، مونومرهای فلاوان-۳-اول و پروآنتوسیانیدین‌ها) می‌باشند (Portu et al., 2016). به دلایل مورد اشاره، میزان مواد فنلی انگور در پژوهش‌ها مورد توجه بوده است؛ به‌همین منظور در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای تحریک تولید و حفظ این ترکیبات مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به کاربرد محرک‌های زنده و غیر زنده و اثر آنها بر بیوسنتز فنل‌ها اشاره کرد (Goetz et al., 1999; Song et al., 2015).

نور UV پهنای وسیعی از طول موج‌ها بین ایکس ری (۲۰۰ نانومتر) و نور مرئی (۴۰۰ نانومتر) را اشغال کرده است (Bintsis et al., 2000). طیف UV می‌تواند به ۳ ناحیه A، B و C تقسیم گردد (WHO, 2014). پژوهش‌ها نشان داده است که پرتوتابی محصولات تازه با پرتو UV-C (۲۸۰-۲۰۰ نانومتر) به‌عنوان یک تنش غیرزنده در شدت‌های مناسب می‌تواند یک‌سری از واکنش‌های بیوشیمیایی در بافت گیاهی را تحریک کند که به‌دنبال آن، متابولیت‌های ثانویه دفاعی با فعالیت ضد میکروبی تولید می‌شوند. این ترکیبات در افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها با به تاخیر انداختن پیری و رسیدگی میوه و القای سیستم‌های دفاعی طبیعی در برابر قارچ‌ها و باکتری‌ها نقش دارند و از این نظر بسیار مفید می‌باشند؛ در نتیجه، تحریک تولید ترکیبات فنلی از جمله فیتوالکسین‌ها می‌تواند راهبردی برای محدود کردن استفاده از مواد شیمیایی و قارچ‌کش‌ها در مدت نگهداری پس از برداشت باشد. همچنین فعال‌سازی مکانیزم‌های دفاعی می‌تواند منجر به تشکیل ترکیبات فعال زیستی گردد که ظرفیت پاداکسایشی و ارزش غذایی محصولات تیمار شده با UV-C را افزایش می‌دهد (Ribeiro & Alvarenga, 2012)، طبق گزارشات پیشین تابش UV-C در شدت‌های مناسب، منجر به افزایش فنل کل و پلی‌آمین‌ها در انبه (González-Aguilar et al., 2001; González-Aguilar et al., 2007)، پلی‌آمین‌ها در هلو

1. Phytoalexin
2. Anthocyanin
3. Flavan-3-ol

مختلف تاکنون گزارش شده است، پژوهش‌های بیشتر در این زمینه را ضروری می‌سازد. پژوهش روی کاربرد تابش UV به منظور افزایش ویژگی‌های مفید غذایی در محصولات تازه به نسبت جدید و در حال انجام است و نمی‌توان با نتیجه‌گیری کلی در مورد اثرات آن قضاوت کرد. از این‌رو، آزمایش حاضر به منظور ارزیابی اثر پرتو دهی UV-C و تعیین شدت مؤثر بر میزان ترکیبات فنلی و ظرفیت پاداکسایشی و فعالیت برخی آنزیم‌های پاداکسایشی که در متابولیسم ترکیبات فنلی و مکانیزم‌های دفاعی نقش دارند و نیز روند تغییرات آنها طی مدت ۶ روز نگهداری در میوه انگور رقم بیدانه سفید انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی

خوشه‌های رسیده انگور (*Vitis vinifera*) رقم بیدانه سفید از ایستگاه تحقیقات انگور ملایر وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان با موقعیت جغرافیایی E ۰۹/۴' ۴۸° و N ۴۹/۲' ۱۵' ۳۴° از تاک‌های نه ساله برداشت شد. برداشت در صبح زود و براساس شاخص میزان مواد جامد محلول  $1 \pm 20$  درجه بریکس انجام شد. خوشه‌های برداشت‌شده به سرعت به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا منتقل شده و سپس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد به مدت یک روز خنک شدند. در روز بعد، از میان حدود ۴۰ خوشه و به‌طور تصادفی از تمام قسمت‌های هر خوشه، حبه‌های سالم، بدون آلودگی و تقریباً یک‌اندازه، به منظور تیمار تابش فرابنفش در شدت‌های مختلف انتخاب گردیدند.

### تیمار پس از برداشت UV-C

تیماردهی فرابنفش مطابق روش Li et al. (2015) انجام شد. به این منظور از اتاقکی که برای این کار تهیه شده بود استفاده گردید. به‌طور خلاصه این اتاقک مجهز به ۳ لامپ UV-C ۳۰ وات (۲۵۴ نانومتر، فیلیپس، آلمان) بود که در قسمت بالای محفظه نصب شده بود. دیواره‌های این اتاقک با فویل آلومینیوم

(Gonzalez-Aguilar et al., 2004)، آنتوسیانین، فنل و ظرفیت پاداکسایشی در توت‌فرنگی (Erkan et al., 2008) و فلاونوئیدها در بلوبری (Wang et al., 2009) گردید. مطالعات اخیر نشان داده است کاربرد UV-C در شدت‌های مناسب و یا کمی شدیدتر موجب افزایش لیکوپن، اسید آسکوربیک، ترکیبات فنلی و ظرفیت پاداکسایشی میوه گوجه‌فرنگی در مدت انبارداری شده است (Liu et al., 2009; Jagadeesh et al., 2011; Liu et al., 2012; Ribeiro & Alvarenga, 2012; Bravo et al., 2012). با این وجود، در سبزی‌ها تحت تأثیر تابش UV-C مقدار کاتکین به‌میزان قابل توجهی کاهش یافت و تغییری در غلظت مشتقات کوئرستینی مشاهده نشد (Higashio et al., 2004). البته آسیب ناشی از تابش بیش از حد UV پیش از این نیز گزارش شده است (D'hallewin et al., 2000; Rodov et al., 1992).

پژوهشگران اثر تیمار تابش UV-C بر سنتز و تغییرات میزان استیلین‌ها در انگور تازه‌خوری رقم رد گلوب را طی مدت ۶ روز نگهداری در دمای ۴ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند و اثر تیمارهای متفاوت UV-C و دمای محل نگهداری بر متابولیسم این ترکیبات را تایید کردند (Guerrero et al., 2015). در پژوهش‌های دیگر نیز اثر تابش UV-C بر فنل کل، آنتوسیانین کل، فعالیت پاداکسایشی و نیز اجزای استیلینی و فلاونوئیدی پوست انگور تازه‌خوری 'رد گلوب' که در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و دمای محیط به مدت ۵ روز نگهداری شده بودند مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد تیمارهای مختلف UV در شرایط انباری متفاوت، اثرات مختلفی را طی مدت نگهداری بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده داشتند (Crupi et al., 2013; Crupi et al., 2014). تمایل مصرف‌کنندگان در جهان به انگورهای تازه‌خوری بیدانه رو به افزایش است (Baiano & Terracone, 2011). با این وجود، به‌نظر می‌رسد پژوهش‌های کافی روی این ارقام به‌عنوان منبع غنی از ترکیبات فنلی که دارای خاصیت پاداکسایشی نیز می‌باشند انجام نگرفته‌است. همچنین نتایج متفاوتی که در ارتباط با شدت‌های مناسب UV-C و شرایط انبار در محصولات

واکنش حاوی ۰/۳ میلی لیتر عصاره و ۱/۵ میلی لیتر معرف فولین بود که پس از گذشت ۸ دقیقه ۱/۲ میلی لیتر کربنات سدیم ۷ درصد به آن اضافه شد. سپس این محلول در تاریکی به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد روی شیکر قرار گرفت و سپس جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. از اسید گالیک برای تهیه منحنی استاندارد استفاده گردید و مقدار فنل کل بر حسب میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر بیان شد.

فلانونوئید کل نمونه‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (کری ۱۰۰، واریان، آمریکا) مورد ارزیابی قرار گرفت (Yoo et al., 2008). ابتدا ۱ میلی لیتر عصاره رقیق شده به ۰/۳ میلی لیتر نیتريت سدیم ۵ درصد افزوده شد. پس از گذشت ۵ دقیقه، ۰/۶ میلی لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد افزوده شد و ۶ دقیقه بعد، ۲ میلی لیتر هیدروکسید سدیم اضافه شد. جذب نمونه با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید. از روتین برای تهیه منحنی استاندارد استفاده شد و میزان فلانونوئید کل نمونه‌ها بر اساس میلی گرم روتین در گرم وزن تر بیان شد. میزان تانن محلول نمونه‌ها با استفاده از روش فولین-دنینز اندازه‌گیری شد (Taira et al., 1997). به‌طور خلاصه ۱۶۲۵ میکرو لیتر عصاره رقیق شده به ۱۲۵ میکرو لیتر معرف فولین ۱ نرمال افزوده شد. پس از ۳ دقیقه ۲۵۰ میکرو لیتر کربنات سدیم اشیاع به محلول اضافه شد. محلول واکنش به مدت ۶۰ دقیقه در تاریکی و دمای ۲۰ درجه سانتی گراد روی شیکر قرار گرفت و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر قرائت شد. مقدار تانن با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میلی گرم اسید تانیک بر گرم وزن تر بیان گردید.

#### سنجش فعالیت پاداکسایشی

ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد 'DPPH' بر اساس تغییرات رنگ محلول DPPH ۶۰ میکرومولار در حضور

به‌منظور ایجاد تمرکز هرچه بیشتر نور پوشیده شد و فاصله محل قرارگیری نمونه تا لامپ به‌طور ثابت ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری شدت تابش از دستگاه رادیومتر (هگنر، سوئد) استفاده شد. با تغییر در مدت زمان تابش (۰، ۷، ۱۰ و ۳۵ دقیقه) و با استفاده از فرمول زیر، شدت‌های ۰ (شاهد)، ۰/۸، ۱/۲ و ۴/۲ کیلوژول بر مترمربع ( $\text{kJ m}^{-2}$ ) محاسبه و اعمال گردید. هر دو سمت حبه‌ها در معرض تابش فرابنفش قرار گرفت. پس از انجام تیمار، حبه‌ها در کیسه‌های نایلونی سوراخ‌دار قرار گرفته و در جعبه بسته‌بندی شدند. سپس بسته‌ها در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی تقریبی ۸۵ درصد در تاریکی به مدت ۶ روز نگهداری شدند. نمونه‌برداری به‌صورت روزانه صورت می‌گرفت.

$$\text{UV-C light dose (J/m}^2\text{)} = \text{Average light Intensity (W/m}^2\text{)} \times \text{Exposure time (s)}$$

#### آماده‌سازی نمونه‌ها

هر روز ۲۰ حبه از هر تکرار به‌طور تصادفی انتخاب و پوست آنها با دست جدا شد. پوست‌ها داخل هاون با نیتروژن مایع به‌خوبی کوبیده و همگن شده، سپس در کیسه‌های پلاستیکی کوچک زیپ‌دار قرار گرفته و در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد برای انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری شدند.

#### سنجش فنل کل، فلانونوئید کل و تانن محلول

به‌منظور استخراج ۳۰۰ میلی گرم نمونه در حلال استخراج (متانول، استون، آب به‌ترتیب به نسبت ۳/۵، ۳، ۳/۵) همراه با ۱ درصد (v/v) استیک اسید گلاسیال کوبیده شد تا مخلوط همگنی به‌دست آید. سپس این مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق (تقریباً ۲۰ درجه سانتی‌گراد) روی شیکر قرار گرفت و سپس سانتریفیوژ شده و قسمت شناور برای اندازه‌گیری مقادیر فنل کل، فلانونوئید کل، تانن کل و فعالیت پاداکسایشی مورد استفاده قرار گرفت (Li et al., 2015). فنل کل پوست حبه‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو سنجیده شد (Slinkard & Singleton, 1977). محلول

مقدار پاداکسنده‌های موجود در یک گرم وزن تر نمونه که بر اساس مقدار غلظت پاداکسنده‌های موجود در نمونه که توانایی احیای میکرومول اکی‌والان آهن ۲ به آهن ۳ را بر گرم وزن تر دارد بیان گردید (Benzie & Strain, 1996). مخلوط ۲۵ میکرولیتر عصاره و ۲۴۷۵ میکرولیتر معرف FRAP پس از گذشت ۱۰ دقیقه نگهداری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۳ نانومتر قرائت شد. اجزای محلول معرف FRAP شامل محلول TPTZ ۱۰ میلی‌مولار (در HCl ۴۰ میلی‌مولار)،  $FeCl_3(6H_2O)$  ۲۰ میلی‌مولار و بافر استات ۳۰۰ میلی‌مولار (pH=۳/۶) به ترتیب به نسبت ۱:۱:۱۰ بود.

#### سنجش فعالیت آنزیمی

عصاره‌گیری نمونه‌ها با استفاده از بافر استخراج و کلیه مراحل در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت (Galli *et al.*, 2009). مقدار ۰/۴ گرم نمونه با ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج (حاوی بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH, ۶/۸)، تریتون ایکس-۱۰۰ (۰/۰۵ درصد (v/v)، مرکاپتواتانول ۵ میلی‌مولار و PVP ۰/۱ درصد (w/v)) عصاره‌گیری و سپس سانتریفیوژ شد. بخش شناور به‌منظور سنجش فعالیت آنزیمی برداشته و در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

برای سنجش فعالیت آنزیم PAL از روش Zhu *et al.* (2016) استفاده شد. به‌منظور تهیه محلول واکنش ۲۰۰ میکرومولار عصاره آنزیمی به ۲ میلی‌لیتر بافر بورت ۰/۲ مولار افزوده شد. واکنش با اضافه‌شدن ۱ میلی‌لیتر ال-فنیل‌آلانین ۲۰ میکرومولار آغاز گردید. پس از ۳۰ دقیقه در حمام بن‌ماری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد واکنش با افزودن ۵۰۰ میکرولیتر اسید هیدروکلروریدریک ۶ مولار متوقف شد. تغییرات جذب محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر بررسی شد. به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم PPO از روش Christopoulos & Tsantili (2015) استفاده شد. به‌طور خلاصه ۴۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۰۵ مولار (pH, ۶/۲) مخلوط و سپس ۵۰۰ میکرولیتر کاتکول ۰/۰۵ مولار افزوده شد.

پاداکسنده‌های نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت (Bertelli *et al.*, 2015). مقدار ۷۵ میکرولیتر عصاره رقیق‌شده به ۲۹۲۵ میکرولیتر محلول متانولی DPPH افزوده شد و به‌منظور انجام واکنش در تاریکی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، جذب محلول در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد. برای تهیه محلول شاهد از آب مقطر به‌جای عصاره در محلول DPPH استفاده گردید. ظرفیت بازدارندگی نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه و به‌صورت درصد بیان گردید.

Inhibitory Capacity (%) =

$$[(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] * 100$$

که در آن:  $A_{\text{control}}$  - جذب محلول DPPH و آب در زمان صفر و  $A_{\text{sample}}$  - جذب محلول DPPH و عصاره بعد از مدت ۳۰ دقیقه می‌باشد.

ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد 'ABTS' نیز بر اساس تغییرات رنگ محلول در حضور پاداکسایش طی زمان اندازه‌گیری شد (Szymanowska *et al.*, 2015). ابتدا محلول استوک  $ABTS^{++}$  با مخلوط کردن محلول ABTS ۷ میلی‌مولار و ۲/۴۵ میلی‌مولار پتاسیم پرسولفات به نسبت مساوی تهیه و به‌مدت یک شبانه‌روز در تاریکی و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. محلول  $ABTS^{++}$  با اتانول ۴۰ بار رقیق شد تا در طول موج ۷۳۴ نانومتر جذبی در حدود ۰/۹ قرائت شود. سپس ۱۵۰ میکرولیتر از عصاره به ۲۸۵۰ میکرولیتر محلول  $ABTS^{++}$  افزوده شد. از آب مقطر به‌جای عصاره برای تهیه نمونه شاهد استفاده گردید. توانایی پاکسازی رادیکال‌های آزاد با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

Inhibitory Capacity (%) =

$$[(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] * 100$$

که در آن:  $A_{\text{control}}$  - جذب محلول ABTS و آب در زمان صفر و  $A_{\text{sample}}$  - جذب محلول ABTS و عصاره بعد از مدت ۸ دقیقه می‌باشد. سنجش توانایی پاکسازی رادیکال‌های آزاد نمونه‌ها به‌روش رنگ‌سنجی FRAP<sup>۲</sup> و با استفاده از منحنی استاندارد  $FeSO_4(7H_2O)$  در غلظت‌های مختلف و به‌صورت

1. Aluminum chloride, 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)
2. Ferric reducing antioxidant potential

نمونه‌های شاهد و تیمار دیده در شکل ۱ نشان داده شد. میزان فنل کل در نمونه‌ها در طول مدت نگهداری تا روز ۵ افزایش یافت و پس از آن، در روز ۶ کاهش نشان داد. میزان فنل در همه نمونه‌های تیمار شده در طول مدت نگهداری بیشتر از شاهد بود. با این وجود در روزهای پایانی شدت‌های مختلف UV-C اثرات متفاوتی را بر میزان فنل کل نشان دادند، ولی در کل، کم‌ترین شدت UV-C ( $0.8 \text{ kJ m}^{-2}$ ) در بین تیمارهای مؤثر در تمامی مراحل نگهداری بود.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تابش فرابنفش C، مدت نگهداری و اثر متقابل آنها بر مقدار فنل کل، فلاونوئید کل و تانن کل پوست حبه انگور رقم بیدانه سفید

Table 1. ANOVA for the effect of UV- C radiation, storage time, and their interaction on total phenol, total flavonoid and total tannin of berry skin of grape cv. Bidaneh-Sefid

Source of Variation	df	Mean Squares		
		Total Phenol	Total Flavonoid	Total Tannin
Treatment	3	0.52**	0.00053**	0.0195 <sup>ns</sup>
Storage	5	0.29**	0.00046**	0.0421 <sup>ns</sup>
Treatment×Storage	15	0.13**	0.00016**	0.0128 <sup>ns</sup>
Error	48	0.023	0.000013	0.0185
C. V. (%)	-	11.19	15.42	17.86

\*\* و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار. \*\*\*, ns: Significant at 1% of probability level, and non-significant, respectively.

فرض بر آن است که تنش UV-C با افزایش فعالیت PAL، سبب تسریع در بیوسنتز ترکیبات فنلی می‌شود (Pluskota *et al.*, 2005). افزایش قابل توجه بیان ژن و فعالیت آنزیم PAL پس از تابش UV-C پیش از این گزارش شده است که برای افزایش مقادیر فنل برای دفاع در برابر بیماری‌ها مفید بود (Pombo *et al.*, 2011). افزایش فنل کل ناشی از تابش UV-C که در این آزمایش مشاهده شد در انبه (González-Aguilar *et al.*, 2001; González-Aguilar *et al.*, 2007)، توت‌فرنگی (Erkan *et al.*, 2008)، انگور تازه‌خوری قرمز (Cantos *et al.*, 2000)، لیمو (Ben-Yehoshua *et al.*, 1992) و یام (Teoh *et al.*, 2016) نیز گزارش شده است. همبستگی زیاد بین فعالیت PAL و افزایش مقدار فنل در واکنش به تیمار UV-C در پژوهش‌های پیشین مشاهده شده است (Pina & Errea, 2008).

پس از گذشت ۲ دقیقه در دمای ۲۵ درجه تغییرات جذبی با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در ۴۲۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت.

به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم POD به‌روش اکسایش گایاکول به‌عنوان پیش‌ماده واکنش POD مورد سنجش قرار گرفت (Christopoulos & Tsantili, 2015). مقدار ۴۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی با ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۰/۰۲۵ مولار (محلول در بافر فسفات ۰/۰۱ میلی‌مولار، pH، ۶) و ۵۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۰۲۰ مولار افزوده شد. پس از گذشت ۲ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تغییرات جذبی با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر مورد ارزیابی قرار گرفت.

فعالیت آنزیمی بر اساس واحد بر گرم وزن تر بیان شد. هر واحد فعالیت آنزیمی معادل مقدار آنزیمی است که سبب افزایش ۰/۰۰۱ جذب در طول موج معین در دقیقه می‌شود.

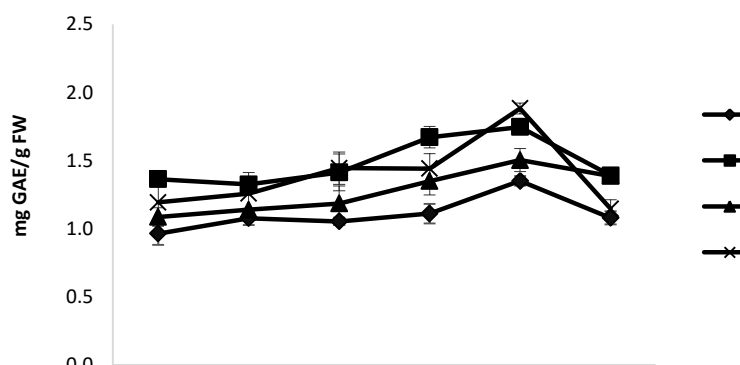
### تجزیه آماری و طرح آزمایشی

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و سه تکرار انجام شد. داده‌ها با استفاده از تجربه واریانس آنالیز آماری شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت. فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها و توزیع خطای آزمایشی در آنها با آزمون‌های Shapiro & Wilk (1965) بررسی گردید. در آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### اثر تیمار UV-C بر ترکیبات فیتوشیمیایی

طبق تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر تیمار، طول مدت نگهداری و اثر متقابل آنها بر میزان فنل کل معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان فنل پوست مربوط به تیمار  $4/2 \text{ kJ m}^{-2}$  در روز ۴ ( $2 \text{ mg GAE/g FW}$ ) و  $4/2 \text{ kJ m}^{-2}$  در روز ۵ ( $1/88 \text{ mg GAE/g FW}$ ) و کم‌ترین مقدار در شاهد در روز ۱ ( $0/96 \text{ mg GAE/g FW}$ ) مشاهده شد. اثر شدت‌های مختلف تابش UV-C بر میزان فنل کل پوست حبه‌ها در طول مدت نگهداری در



شکل ۱. اثر شدت‌های مختلف پرتو فرابنفش C بر غلظت فنل کل جبه‌های انگور در طول مدت نگهداری.

میله‌های عمودی نمایانگر خطای استاندارد میانگین برای ۳ تکرار می‌باشند.

Figure 1. Effect of different doses of UV-C radiation on total phenol content of grape berries during storage. Vertical bars represent standard error for mean of 3 replicates.

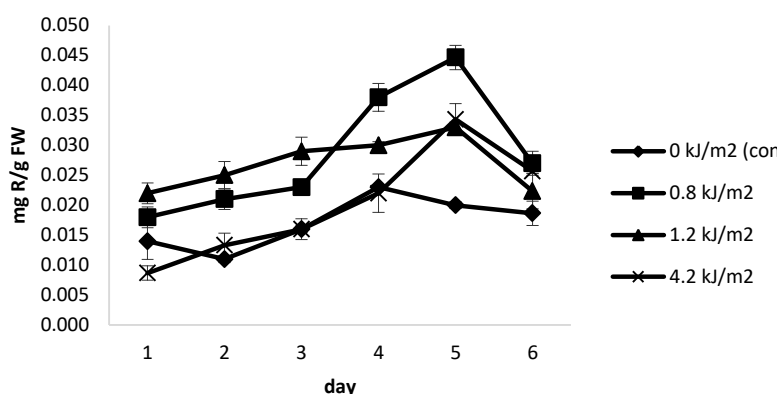
فیلتر UV شناخته شده‌اند (Landry *et al.*, 1995)، که عملاً نقش فنل‌هایی همچون آنتوسیانین‌ها و دیگر فلاونوئیدها را در به حداقل رساندن اثرات منفی تنش تشعشع مانند آسیب سلولی، آسیب اکسایشی و آسیب DNA نشان می‌دهد (Caldwell *et al.*, 1999). بیوسنتز فلاونوئیدها اغلب تحت تأثیر تابش UV در گیاهان القا می‌شود (Jenkins, 2009)، که می‌تواند به سبب افزایش پیش‌ماده‌های آمینواسیدی در مسیرهای متابولیکی باشد. این به‌منزله راهبردی برای گیاه به‌منظور غلبه بر تنش UV از طریق جذب مؤثر تشعشع توسط فلاونوئیدها می‌باشد (Hoque & Remus, 1999) و بدین طریق موجب کاهش تنش اکسایشی در سلول‌ها می‌شود (Dawar *et al.*, 1998). در این آزمایش نیز شدت کم UV سبب افزایش میزان ترکیبات فلاونوئیدی در پوست حبه گردید ولی در شدت‌های بالا نتیجه مطلوب نبود که می‌توان آن را به آسیب سیستم بیوسنتزی ترکیبات فنلی در اثر شدت بالای تشعشع نسبت داد (Cantos *et al.*, 2001).

یکی از ترکیبات مهم در حبه رسیده، مقدار تانن و اثر آن بر گسی حبه می‌باشد. گسی حاصل برهمکنش بین تانن‌ها، بزاقت و پروتئین‌های دهان می‌باشد که منجر به خشکی طولانی می‌شود (Sarni-Manchado *et al.*, 1999). گسی در انگورهای تازه‌خوری یک صفت منفی محسوب می‌شود (Nelson, 1979; Dokoozlian, 2000).

همچنین پیشنهاد شده است که افزایش در مقدار فنل کل در واکنش به تابش UV-C به‌عنوان یک سیستم دفاعی به‌کار می‌رود. به‌علاوه، این ترکیبات به مقابله با پاتوژن‌ها کمک می‌کنند (Ruelas *et al.*, 2006). می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تیمار UV-C مقاومت در برابر هجوم پاتوژن‌ها را با تحریک بیوسنتز ترکیبات فنلی افزایش می‌دهد.

با توجه به تجزیه واریانس جدول ۱ اثر تیمار، طول مدت نگهداری و اثر متقابل آنها بر میزان فلاونوئید کل نمونه‌ها معنی‌دار بود؛ به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان فلاونوئید در نمونه‌های تیمار شده با کم‌ترین شدت UV ( $0.8 \text{ kJ m}^{-2}$ ) در روزهای ۴ و ۵ مدت نگهداری و کم‌ترین مقدار فلاونوئید در نمونه‌های تیمار شده با بیش‌ترین شدت ( $4/2 \text{ kJ m}^{-2}$ ) در روز اول مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شد فلاونوئید کل در نمونه‌ها مانند مقدار فنل تا ۵ روز یک روند افزایشی داشتند و در روز آخر کاهش یافتند. در روز اول، بیش‌ترین میزان فلاونوئید در نمونه‌های تیمار شده با شدت  $0.8 \text{ kJ m}^{-2}$  و  $1/2 \text{ kJ m}^{-2}$  مشاهده شد. در روزهای ۴ و ۵ مقدار فلاونوئید در پوست انگورهای تیمار شده با شدت  $0.8 \text{ kJ m}^{-2}$  نسبت به بقیه تیمارها بسیار قابل توجه بود (حدود دو برابر میزان فلاونوئید نمونه شاهد).

فلاونوئیدها، مهم‌ترین گروه از پلی‌فنل‌های طبیعی بوده که نقش حفاظتی در برابر نور و پاداکسایشی را دارا بوده و در سازگاری گیاه به تنش به‌ویژه به‌عنوان



شکل ۲. اثر شدت‌های مختلف پرتو فرابنفش C بر میزان فلاونوئید کل حبه‌های انگور در طول مدت نگهداری.

میله‌های عمودی نمایانگر خطای استاندارد میانگین برای ۳ تکرار می‌باشند.

Figure 2. Effect of different doses of UV-C radiation on total flavonoid content of grape berries during storage. Vertical bars represent standard error for mean of 3 replicates.

شاهد و تیمار شده در طول مدت نگهداری افزایش یافت. ظرفیت پاداکسایشی نمونه‌ها در روش FRAP در هر روز مدت نگهداری، در نمونه‌های شاهد و نمونه‌هایی که بیش‌ترین میزان شدت تابش را دریافت کرده بودند ( $4/2 \text{ kJ m}^{-2}$ ) به‌ویژه در روزهای پایانی مدت نگهداری کم‌تر بود (شکل ۵). سنجش فعالیت پاداکسایشی به روش‌های مختلف می‌تواند به درک عمیق همبستگی بین ترکیبات فعال زیستی عصاره‌ها و فعالیت پاداکسایشی کمک می‌کند (Pataro *et al.*, 2015). در این پژوهش نیز روش‌های مختلف سنجش ظرفیت پاداکسایشی مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که از نتایج مشاهده شد شدت‌های ملایم تابش بر ظرفیت پاداکسایشی مؤثر واقع شدند. اثر منفی شدت‌های بالای UV-C بر فعالیت پاداکسایشی را همان‌طور که پیش از این اشاره شد می‌توان به آسیب مسیر بیوسنتزی ترکیباتی که دارای خاصیت پاداکسایشی هستند نسبت داد (Cantos *et al.*, 2001). پژوهش‌های قبلی نشان داد که تابش طولانی‌مدت UV-C می‌تواند اثر منفی بر مسیرهای سنتزی ترکیباتی همچون لیکوپن در گوجه‌فرنگی داشته باشد (Pataro *et al.*, 2015). تابش UV می‌تواند سبب القای رادیکال‌های آزاد شود (Hideg & Vass, 1996) که پاداکسنده‌ها را کاهش می‌دهند. در نتیجه کاهش سنتز و افزایش مصرف می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت پاداکسایشی موجود در تیمار شده‌های شدید UV شود (Li *et al.*, 2014).

همان‌طور که از تجزیه واریانس (جدول ۱) مشخص است اختلاف معنی‌داری در میزان تانن محلول نمونه‌ها بین شدت‌های به‌کار رفته UV در روزهای مختلف مشاهده نشد. پیش از این گزارش شده بود تابش UV-C سبب افزایش مقدار تانن کل در انگور شده و بر مقدار کاتکین و اپی‌کاتکین اثر گذار می‌باشد (Pinto *et al.*, 2016)، که با نتایج این پژوهش مغایرت دارد. این عدم تطابق می‌تواند به سبب تفاوت در شدت‌های تابش و یا تفاوت در رقم مورد استفاده در این پژوهش‌ها باشد.

#### اثر تیمار UV-C بر فعالیت‌های پاداکسایشی

طبق تجزیه واریانس (جدول ۲) تابش UV-C و طول مدت نگهداری، بر توانایی پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد در نمونه‌ها اثر معنی‌داری داشتند. همچنین اثر متقابل تیمار و مدت نگهداری تنها بر ظرفیت پاداکسایشی نمونه‌ها در برابر رادیکال آزاد  $\text{DPPH}^{\bullet}$  معنی‌دار گردید. ظرفیت پاداکسایشی حبه‌های تیمار شده با شدت  $1/2$  و  $0/8 \text{ kJ m}^{-2}$  در طول نگهداری بیش‌ترین میزان فعالیت پاک‌سازی رادیکال آزاد  $\text{DPPH}^{\bullet}$  را نشان دادند (شکل ۳). با این وجود، این ظرفیت در آخرین روز نگهداری برای همه نمونه‌های تیمار دیده و شاهد کاهش یافت. در مورد توانایی پاک‌سازی رادیکال آزاد  $\text{ABTS}^{\bullet}$  نیز تیمار UV-C اثر معنی‌داری به‌ویژه در روزهای پایانی مدت نگهداری نسبت به نمونه شاهد نشان داد (شکل ۴). ظرفیت پاداکسایشی بر اساس روش FRAP در نمونه‌های



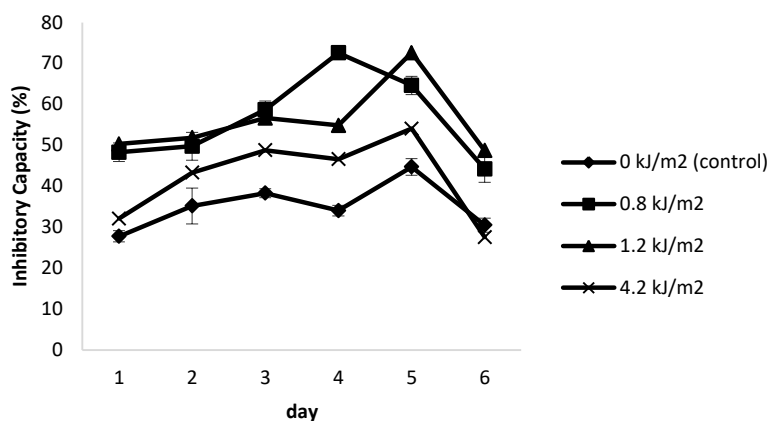
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر مدت نگهداری، تابش UV و اثر متقابل آنها بر فعالیت پاداکسایشی پوست حبه انگور به روش های مختلف <sup>۱</sup>DPPH، <sup>۲</sup>ABTS و <sup>۳</sup>FRAP

Table 2. ANOVA for the effect of storage time, UV radiation and their interaction on antioxidant activity of grape berry skin through different methods of DPPH, ABTS, and FRAP

SOV	df	Mean Squares		
		DPPH	ABTS	FRAP
Treatment	3	1962.1**	100.74**	1.86*
Storage	5	773.3**	495.21**	1.25**
Treatment × Storage	15	67.3979**	117.672 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>
Error	48	21.94	81.67	0.483
CV (%)	-	9.91	12.18	12.76

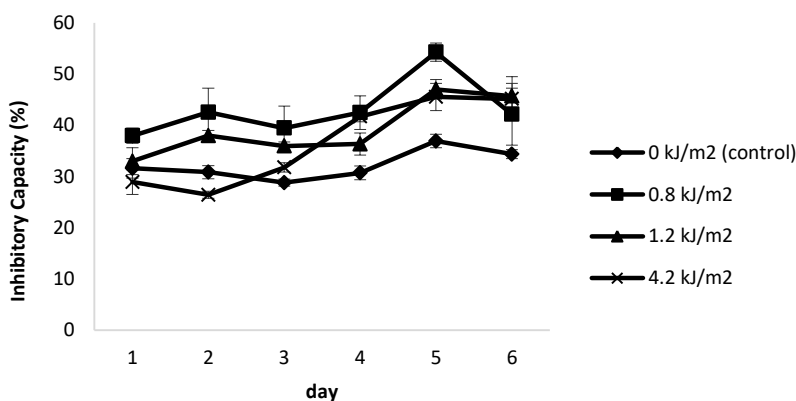
\*, \*\*, ns: معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی دار.

\*, \*\*, ns: Significant at 5% and 1% of probability levels, and Non-significant, respectively.



شکل ۳. اثر شدت های متفاوت UV-C بر ظرفیت پاداکسایشی نمونه های حبه انگور شاهد و تیمار شده به روش DPPH در طول مدت نگهداری. هر کدام از مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است.

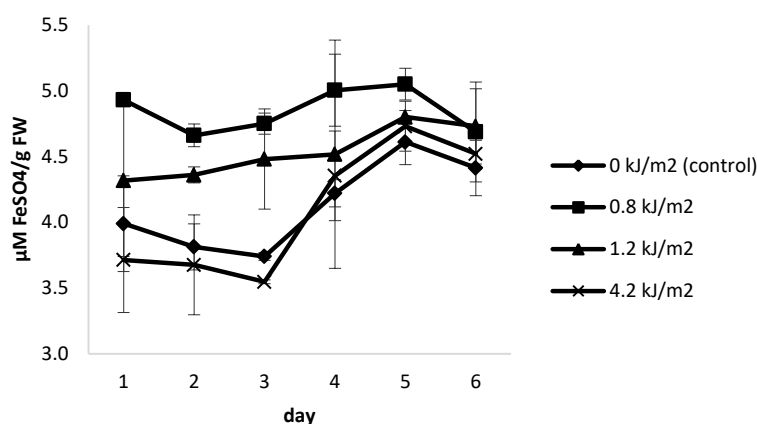
Figure 3. Effect of different doses of UV-C radiation on antioxidant activity (DPPH method) of treated and non-treated grape berry samples during storage. Values represent the mean ± SE.



شکل ۴. اثر شدت های متفاوت UV-C بر ظرفیت پاداکسایشی نمونه های شاهد و تیمار شده حبه انگور به روش ABTS در طول مدت نگهداری. هر کدام از مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است.

Figure 4. Effect of different doses of UV-C radiation on antioxidant activity (ABTS method) of treated and non-treated grape berry samples during storage. Values represent the mean ± SE.

1. 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl
2. Aluminum chloride, 2, 2' - azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)
3. Ferric reducing antioxidant potential



شکل ۵. اثر شدت‌های متفاوت UV-C بر ظرفیت پاداکسایشی نمونه‌های شاهد و تیمار شده حبه انگور به روش FRAP در طول مدت نگهداری. هر کدام از مقادیر میانگین ۳ تکرار  $\pm$  خطای استاندارد است.

Figure 5. Effect of different doses of UV-C radiation on antioxidant activity (FRAP method) of treated and non-treated grape berry samples during storage. Values represent the mean  $\pm$  SE.

در نمونه‌های تیمار شده بدون این‌که تفاوتی بین شدت‌های مختلف UV-C باشد در مقایسه با شاهد بیش‌تر بود. روند تغییرات فعالیت PAL در طول مدت نگهداری، در همه نمونه‌های تیمار شده و شاهد تا روز پنجم افزایشی بود (شکل ۶). گزارش‌های قبلی نشان داد که فعالیت PAL تحت تأثیر تابش UV-C سبب تجمع ترکیبات فنلی می‌شود (Pluskota *et al.*, 2005). به‌علاوه اثر قابل‌توجه تابش UV-C بر بیان ژن PAL و به‌دنبال آن فعالیت آنزیم گزارش شده است (Pombo *et al.*, 2011). با این وجود، نشان داده شده است اثر UV-C بر مسیر بیوسنتزی ترکیبات فیتوشیمیایی وابسته به شدت مورد استفاده می‌باشد (Cantos *et al.*, 2001).

آنزیم PPO به‌طور گسترده در طبیعت وجود دارد و در اکثر میوه‌ها و سبزی‌ها قابل مشاهده است. نقش این آنزیم در قهوه‌ای شدن آنزیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر رنگ در بسیاری از محصولات باغبانی است (Vámos-Vigyázó & Haard, 1981). آنزیم PPO در حضور اکسیژن ملکولی هیدروکسیلاسیون مونوفنل‌ها را به دی‌فنل‌ها و متعاقباً به کوئینون‌ها کاتالیز می‌کند که منجر به رنگدانه‌های قهوه‌ای می‌شود (Christopoulos & Tsantili, 2015). از این‌رو، کنترل فعالیت PPO در جلوگیری از سنتز ملانین و قهوه‌ای شدن بافت اهمیت زیادی دارد (Meng *et al.*, 2012).

اطلاعات کمی در مقالات اخیر درباره اثرات تیمار نوری بر ظرفیت توان پاداکسایشی میوه‌ها و سبزی‌ها وجود دارد و نتایج اغلب ضد و نقیض می‌باشند. اما نتایج این پژوهش مطابق نتایج به‌دست‌آمده در لوبیا سبز (Donsi *et al.*, 2015) و بلوبری (Perkins- Veazie *et al.*, 2008) بود؛ در مقابل، مشاهده شده است که تیمار پس از برداشت UV-C اثر معنی‌داری بر فعالیت پاداکسایشی در گوجه‌فرنگی (Jagadeesh *et al.*, 2011) و قارچ دکمه‌ای (Guan *et al.*, 2012) نداشته است.

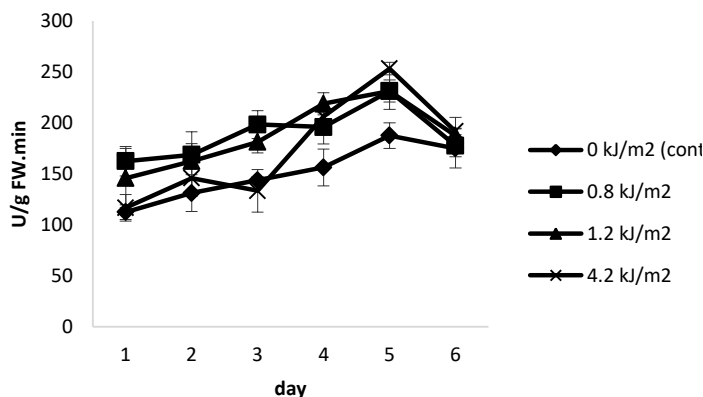
به‌طور کلی افزایش فعالیت پاداکسایشی ناشی از تیمار UV-C به احتمال زیاد مربوط به افزایش مقدار ترکیبات فنلی است که پیش از این در دیگر محصولات نیز مانند گوجه‌فرنگی گزارش شده است (Pataro *et al.*, 2015).

#### اثر تیمار UV-C بر فعالیت‌های آنزیمی

در مسیر فنیل‌پروپانوییدی، PAL آنزیم مهم و اصلی است که نقش مهمی را در سنتز ترکیبات فنلی در گیاهان بازی می‌کند (Pina & Errea, 2008). فعالیت PAL می‌تواند تحت شرایط تنش‌ی گوناگون تحریک شود (Dixon & Paiva, 1995). تابش UV-C و مدت نگهداری اثر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های PAL و PPO داشتند (جدول ۳). به‌گونه‌ای که فعالیت PAL

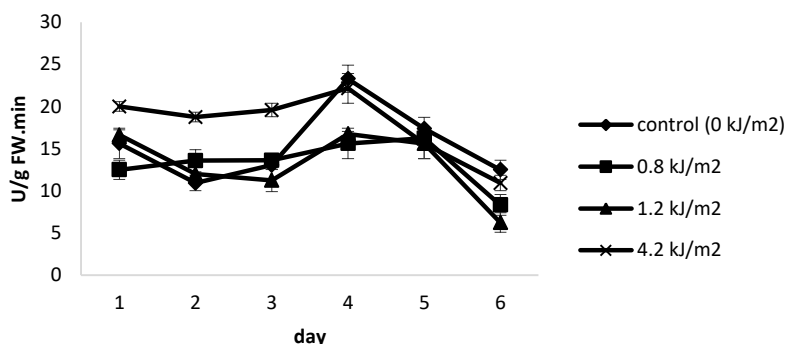
قابل توجه فعالیت PPO به‌ویژه در چهار روز ابتدایی نگهداری گردید. این درحالی بود که شدت‌های کم و متوسط UV-C ( $0.8$  و  $1.2$   $\text{kJ m}^{-2}$ ) فعالیت PPO را در طول مدت نگهداری کنترل کردند (شکل ۷).

در این پژوهش فعالیت آنزیم PPO تحت تأثیر تابش UV-C، مدت نگهداری و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۳). در طول مدت نگهداری، شدت بالای تابش ( $4.2$   $\text{kJ m}^{-2}$ ) سبب افزایش افزایش



شکل ۶. تغییرات میزان فعالیت آنزیم PAL در نمونه‌های پوست حبه انگور شاهد و تیمار شده با تابش UV-C در شدت‌های متفاوت در طول مدت نگهداری. میله‌های عمودی نمایانگر خطای استاندارد میانگین برای ۳ تکرار می‌باشند.

Figure 6. Effect of different doses of UV-C radiation on PAL activity in control and UV-C treated grape berry skin during storage. Vertical bars represent standard error for mean of 3 replicates.



شکل ۷. تغییرات میزان فعالیت آنزیم PPO در نمونه‌های پوست حبه انگور شاهد و تیمار شده با تابش UV-C در شدت‌های متفاوت در طول مدت نگهداری. میله‌های عمودی نمایانگر خطای استاندارد میانگین برای ۳ تکرار می‌باشند.

Figure 7. Effect of different doses of UV-C radiation on PPO activity in control and UV-C treated grape berry skin during storage. Vertical bars represent standard error for mean of 3 replicates.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر طول مدت نگهداری، تابش UV و اثر متقابل آنها بر فعالیت برخی آنزیم‌های عصاره پوست حبه انگور  
Table 3. ANOVA for the effect of storage time, UV radiation and their interaction on PAL, PPO, and POD activity of grape berry skin extracts

Source of Variance	df	Mean Squares		
		PAL	PPO	POD
Treatment	3	16836.77**	104.39**	2554.13**
Storage	5	12736.1**	140.83**	4229.63**
Treatment × Storage	15	1336 <sup>ns</sup>	16.49**	6504.91**
Error	48	717.11	4.46	1491.08
CV (%)	-	15.25	14.05	9.40

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

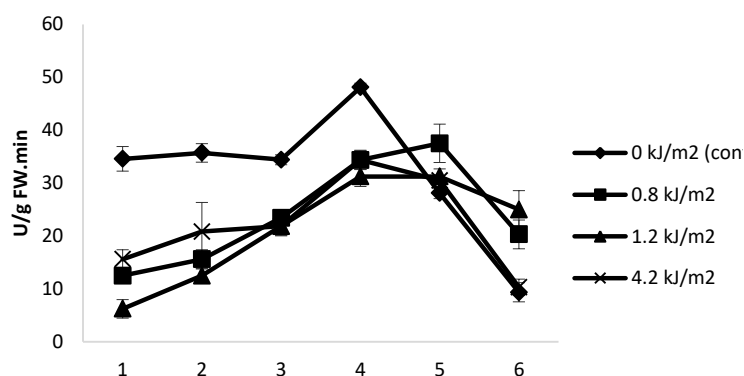
\*\* , ns: Significant at 1% of probability level, and non-significant, respectively.

تولید پروکسید هیدروژن طی اکسایش فنل افزایش دهد (Richard-Forget & Gauillard, 1997). همچنین POD از جمله آنزیم‌های پاداکسایشی مهمی است که در پاک‌سازی گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن نقش دارد و در نتیجه به‌عنوان مکانیزمی برای ترمیم آسیب‌های اکسایشی سلولی محسوب می‌شود (شکل ۸) (Giménez *et al.*, 2017).

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است فعالیت POD در همه نمونه‌های شاهد و تیمار شده در طول مدت نگهداری افزایش داشت. به‌طوری که این افزایش در نمونه‌های شاهد تا اواسط مدت نگهداری به‌ویژه در روز چهارم قابل‌توجه بود ( $48 \text{ U g}^{-1} \text{ FW}$ ). به‌عبارت دیگر تیمارهای UV-C تا روز چهارم به‌خوبی فعالیت POD را کنترل کرده بودند. این در حالی بود که در روزهای پایانی مدت نگهداری، فعالیت این آنزیم در همه نمونه‌های شاهد و تیمار شده کاهش یافت، ولی این بار بین تیمارهای UV-C و شاهد تفاوت قابل‌توجهی مشاهده نشد. البته پژوهش‌های پیشین نشان داده است اثرات تابش UV-C بر فرایندهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی می‌توانند در طول مدت نگهداری تغییر کنند (Urban *et al.*, 2016). در این پژوهش تیمار UV-C اثر بازدارنده‌ای بر فعالیت POD نشان داد و سطح آن را پایین نگاه داشت که با نتایج گزارش‌های پیشین مطابقت داشت (Teoh *et al.*, 2016).

ممانعت از فعالیت PPO تحت تأثیر تابش UV-C پیش از این گزارش شده است (Moreno *et al.*, 2017). محققان محلول آنزیمی PPO را با دامنه‌ای از شدت‌های مختلف UV-C تیمار کردند و دریافتند که اثر بازدارندگی می‌تواند در ارتباط با تجمع و سنتز پروتئینی باشد تا تخریب شدن و از بین رفتن آن (Manzocco *et al.*, 2009). با توجه به نتایج مشاهده‌شده در این آزمایش می‌توان گفت که تیمار UV-C می‌تواند روش مؤثر غیرشیمیایی و غیرگرمایی کنترل‌کننده فعالیت PPO و واکنش‌های قهوه‌ای شدن باشد (Moreno *et al.*, 2017). البته فعالیت زیاد PPO همیشه با افزایش قهوه‌ای شدن همراه نیست و مقدار و نوع ترکیبات فنلی نیز می‌توانند بر قهوه‌ای شدن اثرگذار باشند (Chen *et al.*, 2016). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش و نیز رابطه میان فعالیت آنزیم PPO و کیفیت کشمش (Zoffoli & Latorre, 2011) به‌نظر می‌رسد با بررسی‌های بیشتر بتوان از تیمار UV-C به‌عنوان جایگزین برای روش‌هایی مانند آب‌گرم در تهیه کشمش رقم بیدانه سفید استفاده کرد.

آنزیم POD مسئول اکسایش ترکیبات فنلی در حضور پراکسید هیدروژن و در نتیجه رنگ قهوه‌ای بافت می‌باشد (Tomás-Barberán & Espin, 2001). پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بسیار کم در بافت گیاه وجود دارد. اما PPO می‌تواند فعالیت POD را با



شکل ۸. تغییرات میزان فعالیت آنزیم POD در نمونه‌های پوست حبه انگور شاهد و تیمار شده با تابش UV-C در شدت‌های متفاوت در طول مدت نگهداری. میله‌های عمودی نمایانگر خطای استاندارد میانگین برای ۳ تکرار می‌باشند.

Figure 8. Effect of different doses of UV-C radiation on POD activity in control and UV-C treated grape berry skin during storage. Vertical bars represent standard error for mean of 3 replicates.

تیمار قابل مشاهده بود. البته پاسخ‌های مشاهده‌شده در برابر شدت‌های مختلف تابش یکسان نبوده و شدت بالای UV-C ( $4/2 \text{ kJm}^{-2}$ ) اثر منفی روی میزان فلاونوئید کل و ظرفیت پاداکسایشی داشت. روند تغییرات میزان ترکیبات فنلی و فعالیت پاداکسایشی در طول مدت نگهداری تا روز پنجم افزایشی و سپس در روز ششم کاهش می‌یافت. با وجود آن که مطالعات بیشتری به منظور تعیین شدت‌های بهینه پرتو UV-C و اثرات آن روی متابولیسم ترکیبات فنلی ضروری به نظر می‌رسد، نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند استفاده از فناوری پس از برداشت UV-C در شدت‌های کم می‌تواند برای تقویت ارزش غذایی انگور تازه‌خوری رقم بیدانه سفید در مدت کوتاه از طریق افزایش ترکیبات پاداکسایشی مورد استفاده قرار گیرد.

افزایش فعالیت POD در میوه‌های شاهد و تیمار شده طی مدت نگهداری تایید می‌کند که واکنش‌های تخریبی در طول مدت نگهداری رخ می‌دهند. افزایش فعالیت هر دو آنزیم PPO و POD در میوه‌های شاهد می‌تواند با افزایش فعالیت واحدهای آنزیمی از پیش موجود یا سنتز مجدد آنها در ارتباط باشد (Christopoulos & Tsantili, 2015).

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تابش پرتو UV-C به‌عنوان یک تنش غیرزنده می‌تواند در فرایندهای متابولیسمی و پاداکسایشی میوه انگور اثرگذار باشد. پاسخ مثبت شاخص‌هایی مانند فنل کل و فعالیت آنزیم PAL به تابش UV-C در روزهای اول پس از

#### REFERENCES

- Baiano, A. & Terracone, C. (2011). Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant activities of seven table grape cultivars grown in the south of Italy based on chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(18), 9815-9826.
- Ben-Yehoshua, S., Rodov, V., Kim, J. J. & Carmeli, S. (1992). Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(7), 1217-1221.
- Benzie, I. F. & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bertelli, D., Maietti, A., Papotti, G., Tedeschi, P., Bonetti, G., Graziosi, R., Brandolini, V. & Plessi, M. (2015). Antioxidant activity, phenolic compounds, and NMR characterization of balsamic and traditional balsamic vinegar of Modena. *Food Analytical Methods*, 8(2), 371-379.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. & Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry—a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637-645.
- 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.
- Caldwell, M., Searles, P., Flint, S. & Barnes, P. (1999). Terrestrial ecosystem responses to solar UV-B radiation mediated by vegetation, microbes and abiotic photochemistry. *Physiological Plant Ecology*, 39<sup>th</sup> Symposium on the British Ecological Society, pp. 241-262.
- Cantos, E., Espín, J. C., Fernández, M. J., Oliva, J. & Tomás-Barberán, F. A. (2003). Postharvest UV-C-irradiated grapes as a potential source for producing stilbene-enriched red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1208-1214.
- Cantos, E., Espín, J. C. & Tomás-Barberán, F. A. (2001). Postharvest induction modeling method using UV irradiation pulses for obtaining resveratrol-enriched table grapes: A new "functional" fruit? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 5052-5058.
- Cantos, E., García-Viguera, C., de Pascual-Teresa, S. & Tomás-Barberán, F. A. (2000). Effect of postharvest ultraviolet irradiation on resveratrol and other phenolics of cv. Napoleon table grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4606-4612.
- Chen, C., Hu, W., He, Y., Jiang, A. & Zhang, R. (2016). Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 126-131.
- Christopoulos, M. V. & Tsantili, E. (2015). Participation of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in increased phenolic compounds in fresh cold stressed walnut (*Juglans regia* L.) kernels. *Postharvest Biology and Technology*, 104, 17-25.

13. Crozier, A., Jaganath, I. B. & Clifford, M. N. (2009). Dietary phenolics: Chemistry, bioavailability and effects on health. *Natural Product Reports*, 26(8), 1001-1043 .
14. Crupi, P., Pichierri, A., Basile, T. & Antonacci, D. (2013). Postharvest stilbenes and flavonoids enrichment of table grape cv Redglobe (*Vitis vinifera* L.) as affected by interactive UV-C exposure and storage conditions. *Food Chemistry*, 141(2), 802-808.
15. Crupi, P., Pichierri, A., Milella, R. A., Perniola, R. & Antonacci, D. (2014). Role of the physical elicitors in enhancing postharvest antioxidant capacity of table grape cv. redglobe (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Food Research*, 3(2), 61.
16. D'hallewin, G., Schirra, M., Pala, M. & Ben-Yehoshua, S. (2000). Ultraviolet C irradiation at 0.5 kJ m<sup>-2</sup> reduces decay without causing damage or affecting postharvest quality of 'Star Ruby' grapefruit (*C. paradisi* Macf.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4571-4575 .
17. Dawar, S., Vani, T. & Singhal, G. (1998). Stimulation of antioxidant enzymes and lipid peroxidation by UV-B irradiation in thylakoid membranes of wheat. *Biologia Plantarum*, 41(1), 65-73 .
18. de Pascual-Teresa, S., Moreno, D. A. & García-Viguera, C. (2010). Flavanols and anthocyanins in cardiovascular health: A review of current evidence. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(4), 1679-1703 .
19. Dixon, R. A. & Paiva, N. L. (1995). Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell*, 7(7), 1085.
20. Dokoozlian, N. (2000). Plant growth regulator use for table grape production in California. In: Proceeding of 4th International Symposium on Table Grape, 28 Nov. -1 Dec., La Serena, Chile pp. 122-136.
21. Donsì, F., Marchese, E., Maresca, P., Pataro, G., Vu, K.D., Salmieri, S., Lacroix, M. & Ferrari, G. (2015). Green beans preservation by combination of a modified chitosan based-coating containing nanoemulsion of mandarin essential oil with high pressure or pulsed light processing. *Postharvest Biology and Technology*, 106, 21-32.
22. 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.
23. Galli, F., Archbold, D. D. & Pomper, K. W. (2009). Pawpaw fruit chilling injury and antioxidant protection. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(4), 466-471 .
24. Giménez, M. J., Serrano, M., Valverde, J. M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D. & Guillén, F. (2017). Preharvest salicylic acid and acetylsalicylic acid treatments preserve quality and enhance antioxidant systems during postharvest storage of sweet cherry cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1220-1228 .
25. Goetz, G., Fkyerat, A., Métails, N., Kunz, M., Tabacchi, R., Pezet, R. & Pont, V. (1999). Resistance factors to grey mould in grape berries: Identification of some phenolics inhibitors of *Botrytis cinerea* stilbene oxidase. *Phytochemistry*, 52(5), 759-767 .
26. González-Aguilar, G., Wang, C., Buta, J. & Krizek, D. (2001). Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(7), 767-773 .
27. Gonzalez-Aguilar, G., Wang, C. Y. & Buta, G. J. (2004). UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(5), 415-422 .
28. González-Aguilar, G. A., Villegas-Ochoa, M. A., Martínez-Téllez, M., Gardea, 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 .
29. Guan, W., Fan, X. & Yan, R. (2012). Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 64(1), 119-125 .
30. Guerrero, R. F., Cantos-Villar, E., Fernández-Marín, M. I., Puertas, B. & Serrano-Albarrán, M. J. (2015). Optimising UV-C preharvest light for stilbene synthesis stimulation in table grape: Applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 222-229.
31. Harborne, J. & Williams, C. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry* 55, 481-504.
32. Haslam, E., Lilley, T. H. & Butler, L. G. (1988). Natural astringency in foodstuffs-A molecular interpretation. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 27(1), 1-40 .
33. Hideg, É. & Vass, I. (1996). UV-B induced free radical production in plant leaves and isolated thylakoid membranes. *Plant Science*, 115(2), 251-260.
34. Higashio, H., Hirokane, H., Sato, F., Tokuda, S. & Uragami, A. (2005). Effect of UV irradiation after the harvest on the content of flavonoid in vegetables. *Acta Horticulturae*, 682, 1007-1012.

35. Hoque, E. & Remus, G. (1999). Natural UV-screening mechanisms of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) needles. *Photochem Photobiology*, 69(2), 177-192 .
36. Jagadeesh, S., Charles, M., Garipey, Y., Goyette, B., Raghavan, G. & Vigneault, C. (2011). Influence of postharvest UV-C hormesis on the bioactive components of tomato during post-treatment handling. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1463-1472 .
37. Jenkins, G. I. (2009). Signal transduction in responses to UV-B radiation. *Annual Review of Plant Biology*, 60, 407-431.
38. Landry, L. G., Chapple, C. C. & Last, R. L. (1995). *Arabidopsis* mutants lacking phenolic sunscreens exhibit enhanced ultraviolet-B injury and oxidative damage. *Plant Physiology*, 109(4), 1159-1166 .
39. Leifert, W. R. & Abeywardena, M. Y. (2008). Cardioprotective actions of grape polyphenols. *Nutrition Research*, 28(11), 729-737.
40. 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 .
41. Li, L., Li, J., Sun, J., Li, C., Sheng, J., Zheng, F., Liao, F., He, X., Liu, G., Ling, D. & You, X. (2015). Effects of 2-butanol on quality and physiological characteristics of longan fruit stored at ambient temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 101, 96-102.
42. Liu, C.H., Cai, L.Y., Lu, X.Y., Han, X.X. & Ying, T.J. (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 .
43. Liu, L., Zabarar, D., Bennett, L., Aguas, P. & Woonton, B. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 115(2), 495-500 .
44. Manzocco, L., Quarta, B. & Dri, A. (2009). Polyphenoloxidase inactivation by light exposure in model systems and apple derivatives. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 506-511 .
45. Meng, D., Song, T., Shen, L., Zhang, X. & Sheng, J. (2012). Postharvest application of methyl jasmonate for improving quality retention of *Agaricus bisporus* fruit bodies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(23), 6056-6062.
46. Moreno, C., Andrade-Cuvi, M. J., Zaro, M. J., Darre, M., Vicente, A. R. & Concellón, A. (2017). Short UV-C Treatment prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut carambola. *Journal of Food Quality*, 1-9.
47. Nelson, K. E. (1979). *Harvesting and Handling California Table Grapes for Market* (Vol. 1913). UCANR Publications.
48. Noble, A. (1994). Bitterness in wine. *Physiology & Behavior*, 56(6), 1251-1255.
49. WHO (World Health Organization). (2014). Ultraviolet radiation and the INTERSUN Programme. *Sun protection: Simple precautions in the sun*.
50. Pataro, G., Sinik, M., Capitoli, M. M., Donsi, G. & Ferrari, G. (2015). The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 30, 103-111.
51. 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.
52. Pezzuto, J. M. (2008). Grapes and human health: A perspective. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 6777-6784 .
53. Pina, A. & Errea, P. (2008). Differential induction of phenylalanine ammonia-lyase gene expression in response to *in vitro* callus unions of *Prunus* spp. *Journal of Plant Physiology*, 165(7), 705-714 .
54. Pinto, E. P., Perin, E. C., Schott, I. B., da Silva Rodrigues, R., Lucchetta, L., Manfro, V. & Rombaldi, C. V. (2016). The effect of postharvest application of UV-C radiation on the phenolic compounds of conventional and organic grapes (*Vitis labrusca* cv. Concord). *Postharvest Biology and Technology*, 120, 84-91.
55. Pluskota, W. E., Michalczyk, D. J. & Górecki, R. J. (2005). Control of phenylalanine ammonia-lyase gene promoters from pea by UV radiation. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27(2), 229-236.
56. Pombo, M. A., Rosli, H. G., Martínez, G. A. & Civello, P. M. (2011). UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*, Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 94-102.
57. Portu, J., López, R., Baroja, E., Santamaría, P. & Garde-Cerdán, T. (2016). Improvement of grape and wine phenolic content by foliar application to grapevine of three different elicitors: Methyl jasmonate, chitosan, and yeast extract. *Food Chemistry*, 201, 213-221.
58. Ribeiro, C. & Alvarenga, B. (2012). Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(6), 586-597.

59. Richard-Forget, F. C. & Gaillard, F. A. (1997). Oxidation of chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear (*Pyrus communis* cv. Williams) polyphenol oxidase and peroxidase: A possible involvement of peroxidase in enzymatic browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7), 2472-2476 .
60. Rodov, V., Ben-Yehoshua, S., Kim, J. J., Shapiro, B. & Ittah, Y. (1992). Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruit and improves decay resistance. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(5), 788-792 .
61. Ruelas, C., Tiznado-Hernández, M., Sánchez-Estrada, A., Robles-Burgueño, M. & Troncoso-Rojas, R. (2006). Changes in phenolic acid content during *Alternaria alternata* infection in tomato fruit. *Journal of Phytopathology*, 154(4), 236-244 .
62. Sarni-Manchado, P., Cheynier, V. & Moutounet, M. (1999). Interactions of grape seed tannins with salivary proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(1), 42-47 .
63. Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591-611 .
64. Slinkard, K. & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55 .
65. Song, J., Smart, R., Wang, H., Damberg, B., Sparrow, A. & Qian, M. C. (2015). Effect of grape bunch sunlight exposure and UV radiation on phenolics and volatile composition of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir wine. *Food Chemistry*, 173, 424-431.
66. Szymanowska, U., Zlotek, U., Karas, M. & Baraniak, B. (2015). Anti-inflammatory and antioxidative activity of anthocyanins from purple basil leaves induced by selected abiotic elicitors. *Food Chemistry*, 172, 71-77.
67. Taira, S., Ono, M. & Matsumoto, N. (1997). Reduction of persimmon astringency by complex formation between pectin and tannins. *Postharvest Biology and Technology*, 12(3), 265-271.
68. Teoh, L. S., Lasekan, O., Adzahan, N. M. & Hashim, N. (2016). The effect of combinations of UV-C exposure with ascorbate and calcium chloride dips on the enzymatic activities and total phenolic content of minimally processed yam slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 138-144.
69. Tomás-Barberán, F. A. & Espin, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876 .
70. Urban, L., Charles, F., de Miranda, M. R. & Aarouf, J. (2016). Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 1-11.
71. Vámos-Vigyázó, L. & Haard, N. F. (1981). Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(1), 49-127 .
72. 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 .
73. Yoo, K. M., Lee, C. H., Lee, H., Moon, B. & Lee, C. Y. (2008). Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs. *Food Chemistry*, 106(3), 929-936.
74. Zhao, J., Davis, L. C. & Verpoorte, R. (2005). Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 23(4), 283-333.
75. Zhu, Y., Yu, J., Brecht, J. K., Jiang, T. & Zheng, X. (2016). Pre-harvest application of oxalic acid increases quality and resistance to *Penicillium expansum* in kiwifruit during postharvest storage. *Food Chemistry*, 190, 537-543.
76. Zoffoli, J. & Latorre, B. (2011). Table grape (*Vitis vinifera* L.). In: E. Yahia (Ed), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Cocona to Mango* (pp.179-214). Elsevier.