

## اثر گلایسین بتائین و گرم کردن متناوب بر حفظ کیفیت و عمر انبارمانی فلفل شیرین

زهرا قهرمانی<sup>۱\*</sup>، علی نوبخت<sup>۲</sup>، طاهر برزگر<sup>۳</sup> و ولی ربیعی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

\* نویسنده مسئول: Z.ghahremani@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۱

## چکیده

به منظور بررسی حفظ کیفیت میوه و عمر انبارمانی فلفل شیرین با تیمار گلایسین بتائین و گرم کردن متناوب، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار گرمایی متناوب در سه سطح (شاهد، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و تیمار گلایسین بتائین در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار) بودند. میوه‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی  $85 \pm 5$  درصد به مدت ۳۰ روز نگهداری شدند. نتایج نشان دادند که در طول مدت نگهداری در دمای پایین به تدریج با افزایش دوره انبارمانی محتوای ویتامین ث، کلروفیل، کاروتنوئید و فعالیت آنزیم پراکسیداز کاهش یافت و کاهش وزن، اسیدیتته عصاره و نشت یونی افزایش پیدا کرد. تیمارهای گرمادهی متناوب و گلایسین بتائین بر روی صفات مورد مطالعه اعم از مواد جامد محلول، اسیدیتته عصاره، محتوای ویتامین ث، کلروفیل، کاروتنوئید و فعالیت آنزیم پراکسیداز اثرات مثبتی داشتند و موجب بهبود کیفیت میوه فلفل در مدت زمان نگهداری در دمای پایین شدند. این تیمارها از کاهش وزن محصول جلوگیری کرده و موجب کاهش نشت یونی در طول مدت نگهداری شدند. بین سطوح مختلف تیمار حرارتی و گلایسین بتائین، دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۵ میلی‌مولار در بهبود خصوصیات کیفی فلفل مفیدتر واقع شدند. لذا استفاده گلایسین بتائین و گرم کردن متناوب می‌تواند کیفیت فلفل شیرین را افزایش داده و با جلوگیری از افزایش آلودگی‌ها عمر پس از برداشت فلفل شیرین را بهبود بخشند.

واژه‌های کلیدی: کاهش وزن، کاروتنوئید، کیفیت پس از برداشت، ویتامین ث.

## مقدمه

۳۵ را در میان ۱۱۰ کشور تولیدکننده فلفل سبز دارا است. میزان تولید فلفل سبز در جهان حدود ۲۸ میلیون تن است و ایران با تولید بیش از ۱۰۰ هزار تن فلفل سبز، در رتبه ۲۷ جهان قرار دارد. متوسط عملکرد اراضی زیرکشت فلفل سبز ۲۶۲۵۰ کیلوگرم در هکتار است (FAO, 2010). مصرف فلفل به دلیل دارا بودن مقادیر بالای ویتامین ث و آ، تنوع بالا در رنگ، اندازه و طعم، به طور گسترده‌ای در

فلفل شیرین از تیره بادمجانیان (Solanaceae)، از جنس *Capsicum* و گونه خوراکی آن *C. annuum* L. می‌باشد که یکی از مهم‌ترین سبزی‌های خانواده بادمجانیان به‌شمار می‌آید. کشورهای چین، اندونزی و مکزیک جایگاه اول تا سوم را از نظر سطح زیرکشت فلفل سبز در جهان دارند. ایران با سطح زیر کشت ۴۰۰۰ هکتار رتبه

مقاومت در برابر بیماری در محصولات باغبانی برداشت شده با استفاده از روش‌های فیزیکی، بیولوژیکی و یا ایسیتورهای شیمیایی به‌عنوان یک راهکار مورد نظر برای مدیریت بیماری در نظر گرفته شده است (Wang *et al.*, 2015). تیمار گرمایی می‌تواند به‌صورت آب‌گرم یا بخار آب‌گرم اثر مثبتی در حفظ کیفیت محصولات داشته باشد. زیرا گرما علاوه بر این‌که عوامل بیماری‌زا را از بین می‌برد، باعث تولید ترکیبات دفاعی در محصولات می‌شود که در نهایت منجر به افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردند. مشاهده شده است که هوای داغ به‌طور قابل توجهی باعث القای فعالیت‌های کیتیناز و بتا-گلوکوناز شده و پوسیدگی میوه در گیلاس (*Prunus cerasus* L.) را مهار کرده بود (Wang *et al.*, 2015) که کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی در اثر تیمار گرمایی می‌تواند کاهش حلالیت پکتین‌ها از طریق افزایش مکان‌های مثبت برای تشکیل پل‌های کلسیمی در دیواره سلولی باشد (Mirdehghan *et al.*, 2007).

به‌منظور حفظ کیفیت و عمر انباری میوه‌ها و سبزی‌ها از ترکیبات آلی سازگار نیز استفاده می‌شود. این محلول‌های سازگارکننده همانند پرولین، گاما آمینو بوتیریک اسید و گلیسین بتائین در افزایش تحمل به کمبود آب ناشی از سرمازدگی مؤثر هستند (Malekzadeh, 2015). کاربرد خارجی گلیسین بتائین می‌تواند گیاهان را در مقابل تنش‌های مختلفی که منجر به یخ‌زدگی یا سرمازدگی می‌شود، محافظت کند (Chen & Murata, 2002). مطالعات نشان داده‌اند که گلیسین بتائین می‌تواند سبب محافظت از غشای پلاسمایی سلول‌ها در مقابل اثرات تخریبی دمای محیط گردد. با تیمار میوه‌های انار (*Punica granatum* L.) به‌وسیله گلیسین بتائین علائم

حال افزایش است (Daneshvar, 2005). چروکیدگی و از دست‌دهی آب میوه از دشواری‌های اصلی پس از برداشت فلفل است که بر حمل و نقل و نگهداری آن اثر نامطلوبی دارد. همچنین با از دست‌رفتن آب، روند کاهش ویتامین ث نیز تسریع می‌شود (Smith *et al.*, 2006). از دیگر نابسامانی‌های پس از برداشت فلفل، حساسیت به نگهداری در دماهای پایین است. نگهداری فلفل در دمای کمتر از هفت درجه سانتی‌گراد باعث بروز صدماتی همچون ایجاد لکه‌های فرورفته و پوسیدگی نرم آلترناریایی می‌شود (Smith *et al.*, 2006). از جمله اقدامات انجام گرفته در پس از برداشت فلفل، می‌توان به سردکردن اولیه (Precooling) به‌منظور کنترل پوسیدگی نرم، نگهداری در دمای بالای هفت درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ تا ۹۵ درصد، استفاده از تیمار حرارتی به‌منظور افزایش محتوای آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از صدمات نگهداری در دمای پایین اشاره نمود (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2003).

تیمار گرمایی به‌روش‌های مختلفی از جمله بخار آب گرم، هوای داغ و آب‌گرم انجام می‌شود. استفاده از هر کدام از این روش‌ها بستگی به دمای مورد استفاده، مدت زمان تیمار و نوع عامل بیماری‌زا و حساسیت محصول دارد (Vicente *et al.*, 2002). تیمارهای گرمایی علاوه بر کنترل عوامل بیماری‌زا با تشکیل مواد لیگنینی در بافت آسیب‌دیده، از اتلاف آب محصول جلوگیری می‌کند (Ben-Yehoshua *et al.*, 1987, Ben-Yehoshua *et al.*, 2004). در برخی از میوه‌ها به‌طور موقت سرعت تنفس را کاهش داده و سبب حفظ قند و مواد جامد قابل‌حل در میوه‌ها می‌شود (Lingle & Dunlap, 1987). تیمار گرمایی به‌طور گسترده‌ای برای توقف پوسیدگی قارچی، تأخیر در رسیدن، افزایش مقاومت به سرمازدگی و توسعه عمر پس از برداشت در میوه و سبزی‌های استفاده شده است.

کنترل شد و تیمار گلايسين بتائين با غلظت دو ميلي مولار بر ليتر در افزايش عمر انباري قارچ دکمه‌ای مؤثر واقع شد (Zhaogai *et al.*, 2015). بنابراین، این آزمایش به منظور بررسی تأثیر تیمار گلايسين بتائين و گرم کردن متناوب بر حفظ کیفیت میوه فلفل شیرين انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان ۱۳۹۵ در محل سردخانه و آزمایشگاه مرکزی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار گرمایی متناوب در سه سطح (بدون تیمار، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و تیمار گلايسين بتائين در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ ميلي مولار) بودند. پس از شست‌وشوی میوه‌ها و خشک‌نمودن آن‌ها، میوه‌های فلفل با سطوح مختلف گلايسين بتائين تیمار شد. برای پوشش‌دهی از روش غوطه‌وری (Singthong & Thongkaew, 2009) استفاده شد. در این روش نمونه‌ها به مدت ۱۰ ثانیه درون محلول گلايسين بتائين با دمای اتاق غوطه‌ور شدند. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در محیط آزمایشگاه باقی ماندند تا محلول گلايسين بتائين اضافی از روی آن‌ها جدا شود. سپس بسته‌بندی (۳۰ میوه در هر بسته) شده و به مدت چهار روز در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. به منظور اعمال تیمار گرم کردن متناوب، میوه‌ها به مدت ۲۴ ساعت به دمای ۲۰ یا ۳۰ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند و بعد از اعمال تیمار گرمایی مجدداً به مدت چهار روز در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و تا ۳۰ روز نگهداری شدند. نمونه‌برداری از میوه‌ها در چهار مرحله (میوه‌های شاهد تازه برداشت‌شده سپس با فاصله ۱۰ روز یک‌بار) انجام

آسیب سرما، محتوای مالون دی‌آلدهید و نشست الکترولیت به‌طور چشم‌گیری کاهش و مقدار اسید آمینه پرولین افزایش پیدا کرد (Malekzadeh & Hatamnia, 2015). کاربرد گلايسين بتائين با افزایش محتوای کلروفیل، پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل و کاهش نشت یونی، مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن سبب کاهش صدمه‌ای سرمازدگی گیاهچه‌های خیار (*Cucumis sativus* L.) شد (Seaidpor *et al.*, 2015). گزارش شده است که تیمار گلايسين بتائين موجب جلوگیری از آسیب سرمازدگی و حفظ سفتی گوشت میوه و آب میوه هلو (*Prunus persica* L.) در طول نگهداری در دمای پایین شده است (Shan *et al.*, 2016). Rodríguez-Zapata و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که کاربرد برگی قبل از برداشت گلايسين بتائين در کاهش سرمای سرمای میوه موز (*Musa sapientum* L.) در طول دوره ذخیره‌سازی پس از برداشت مؤثر واقع شد (Rodríguez-Zapata *et al.*, 2015). اخیراً، کاربرد خارجی گلايسين بتائين در افزایش تحمل به سرما و اثرات مثبت در القای تحمل به تنش در برخی میوه‌ها و سبزی‌ها از جمله ازگیل ژاپنی (*Eriobotrya japonica* L.)، فلفل‌تند، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) و قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) گزارش شده است (Sun *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2015; Ding *et al.*, 2012). Wang و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده شد که تیمار ۲/۵ ميلي مولار گلايسين بتائين به‌طور معنی‌داری کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز را به تأخیر انداخت (Wang *et al.*, 2015). نتایج نشان داد که قارچ دکمه‌ای تحت تیمار با گلايسين بتائين آب کمتری از دست داد و سرعت تنفس، باز شدن کلاهک و قهوه‌ای شدن هم

ث با روش تیتراسیون با ید در یدور پتاسیم انجام شد. پایان تیتراسیون زمانی بود که رنگ عصاره میوه‌ها آبی تیره شده و این رنگ چند ثانیه پایدار ماند (Arya, 2000).

$$A=(S \times N \times F \times 88.1 \times 100) / 10 \quad (2)$$

A: مقدار اسید آسکوربیک در عصاره میوه (میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره)

S: مقدار محلول ید مصرف‌شده (میلی‌لیتر)، N: نرمالیت‌ه محلول مصرف‌شده، F: فاکتور محلول ید مصرف‌شده.

اندازه‌گیری کلروفیل به روش آرنون انجام شد (Arnon, 1967). میزان کلروفیل با استفاده از استون ۸۰ درصد استخراج و در نهایت میزان جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-600) در دو طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل و دو طول موج ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر برای کاروتنوئید قرائت و طبق رابطه‌های (۳ و ۴) محاسبه گردید.

$$\text{Chlorophyll} = (20.2 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663}) \times \frac{V}{W} \quad (3)$$

$$\text{Carotenoids} = (7.6 \times A_{480} - 1.49 \times A_{510}) \times \frac{V}{W} \quad (4)$$

علت به آن آنزیم گایاکول پراکسیداز گفته می‌شود که بر اساس میزان اکسیدشدن گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر تعیین می‌شود (Ghanati et al., 2002). برای منظور سه میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH=7) با هفت میکرولیتر پراکسید هیدروژن و شش میکرولیتر گایاکول مخلوط و دستگاه اسپکتروفتومتر را با استفاده از این مخلوط صفر گردید. دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SAFAS MONACO (RS 232) و کشور سازنده آلمان، روی برنامه کینتیک با

شد. پس از شروع انبارمانی در هر مرحله صفات کمی و کیفی میوه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری درصد کاهش وزن میوه‌های هر واحد آزمایشی با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم در ابتدای آزمایش و پس از انتقال به آزمایشگاه و نیز به فواصل معین وزن شدند و درصد کاهش وزن از طریق رابطه یک محاسبه گردید (Meng et al., 2007).

$$\text{رابطه (۱)} \quad LW = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W<sub>1</sub>: وزن اندازه‌گیری شده قبل از نگهداری در انبار، W<sub>2</sub>: وزن اندازه‌گیری شده بد از خروج از انبار و LW: درصد کاهش وزن.

اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل با دستگاه رفاکتومتر دستی (Refractometer ساخت ایتالیا ARBO 45) انجام شد و مقدار مواد جامد محلول برحسب درجه بریکس ثبت شد. اسیدیته میوه با استفاده از دستگاه pH متر (ساخت کشور آلمان، مدل Inolab) و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. اندازه‌گیری میزان ویتامین

نشت یونی به روش (Ezhilmathi et al., 2007) انجام شد و میزان هدایت الکتریکی نهایی از طریق رابطه ۵ محاسبه شد (Ezhilmathi, et al., 2007).

$$\text{رابطه (۵)} \quad EC(\%) = 1 - (EC_1 / EC_2)$$

EC: میزان هدایت الکتریکی نهایی، EC<sub>1</sub>: میزان هدایت الکتریکی اولیه، EC<sub>2</sub>: میزان هدایت الکتریکی ثانویه برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز از ترکیبات فنولیک گایاکول به‌عنوان دهنده الکترون برای تجزیه پراکسید هیدروژن استفاده می‌شود. به همین

گرمادهی متناوب و طول دوره انبارماني بر اسیديته عصاره میوه روند افزایشی رو نشان داد و بیشترین مقدار آن (۶) در ۳۰ روز پس از انبارماني در میوه‌های شاهد مشاهده شد (شکل ۲). تیمار گلايسين بتائين و تیمار حرارتی افزایش مقدار اسیديته عصاره میوه را در طول دوره انبارماني تا حدودی به تأخیر انداختند. در واقع گلايسين بتائين و تیمار حرارتی افزایش میزان این شاخص را متعادل تر کردند. بین سطوح تیمار گلايسين بتائين غلظت ۱۰ میلی‌مولار و تیمار گرمادهی متناوب دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اثرات مفیدتری در متعادل کردن اسیديته عصاره میوه در طول دوره انبارماني ۳۰ روزه داشتند (شکل‌های ۱ و ۲).

طی دوران انبارماني اسیديته آب میوه تا حدودی افزایش می‌یابد که می‌تواند بیانگر مصرف اسیدهای آلی در طول زمان نگهداری باشد (Stow, 1993). احتمالاً ثابت نگه‌داشتن این شاخص تحت تیمار گرمادهی متناوب و گلايسين بتائين به دلیل کند کردن تنفس و کاهش مصرف اسیدهای آلی باشد. در این راستا گزارش شده است که تیمار گرمایی ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در میوه انار موجب کاهش اسیديته گردید (Mirdehghan *et al.*, 2007).

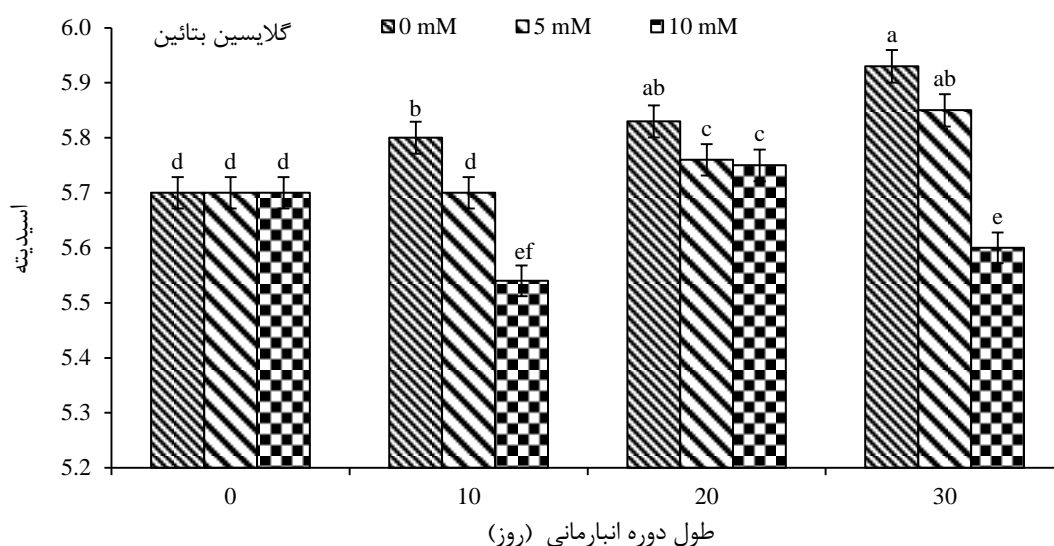
مشخصات طول موج لاندرا برابر ۴۷۰ نانومتر به مدت سه دقیقه در فواصل زمانی ۲۰ ثانیه و جذب نور تنظیم شد. سپس ۱۵ میکرولیتر عصاره به مخلوط اضافه و بلافاصله تغییرات جذب نور آن با فواصل زمانی ۲۰ ثانیه و به مدت سه دقیقه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری بایستی دمای بافر اندازه‌گیری و عصاره هم دمای اتاق باشند. میزان فعالیت آنزیم به صورت میکرومول تراگایاکول تشکیل شده در دقیقه در واحد گرم میوه تازه بیان شد (Ghanati *et al.*, 2002).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS var (9.1) انجام شد. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

## نتایج و بحث

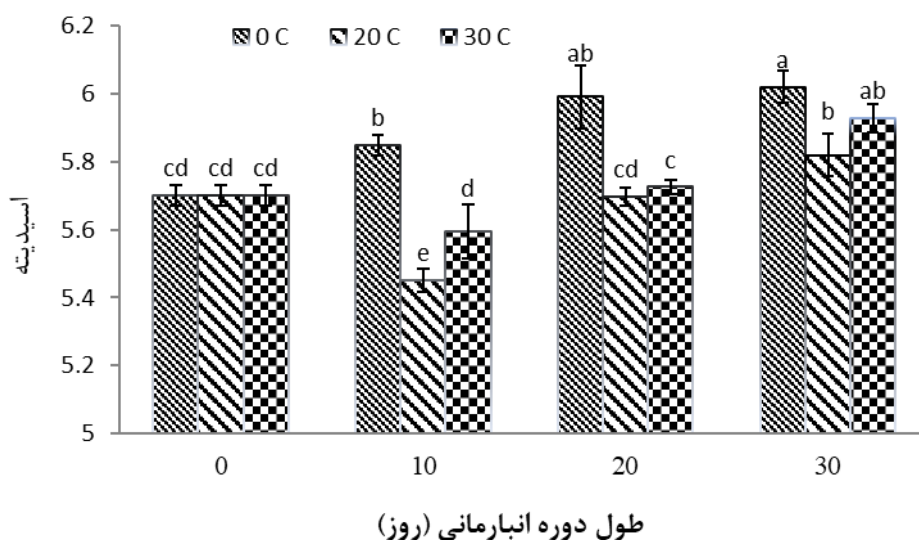
### pH عصاره‌ی میوه

طبق نتایج به دست آمده از اثرات متقابل گلايسين بتائين و طول دوره انبارماني به تدریج با افزایش دوره انبارماني میزان اسیديته عصاره میوه روند افزایشی نشان داد و بیشترین مقدار آن (۵/۹) در ۳۰ روز پس از انبارماني در میوه‌های شاهد مشاهده شد (شکل ۱). طبق نتایج به دست آمده از اثرات متقابل تیمار



شکل ۱- اثرات متقابل گلایسین بتائین و طول دوره انبارمانی بر اسیدیتته عصاره میوه

(ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)



شکل ۲- اثرات متقابل تیمار گرمادهی متناوب و طول دوره انبارمانی بر اسیدیتته عصاره میوه

(ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

شد. کمترین درصد کاهش وزن (۷/۱۵ درصد) تحت تیمار پنج میلی‌مولار گلایسین بتائین و تیمار گرمادهی متناوب ۲۰ درجه سانتی‌گراد در طی مدت انبارمانی ۱۰ روز مشاهده شد (جدول ۱). کاهش وزن میوه به‌طور عمده با تنفس، تبخیر رطوبت از پوست میوه و فعالیت‌های متابولیکی کنترل می‌شود. کاهش وزن میوه در نتیجه

درصد کاهش وزن میوه، مواد جامد محلول (TSS) و ویتامین ث میوه

طبق نتایج مقایسه میانگین، درصد کاهش وزن فلفل با گذشت زمان و در طی دوره انبارمانی افزایش پیدا کرد و بیشترین (۳۴/۹۳ درصد) مقدار آن در روز ۳۰ انبارمانی در میوه‌های شاهد مشاهده

طبق نتایج به دست آمده با افزایش مدت انبارمانی، افزایش مواد جامد محلول میوه مشاهده شد و بیشترین (۷/۳۳ درصد) مقدار آن در ۳۰ روز بعد از انبارمانی در تیمار شاهد گرمادهی متناوب و با غلظت صفر میلی مولار گلاسیسین بتائین به دست آمد. کمترین مقدار مواد جامد محلول (۳/۷۱ درصد بریکس)، ۳۰ روز پس از انبارمانی در میوه های تیمار شده با گلاسیسین بتائین ۱۰ میلی مولار و تیمار گرمادهی متناوب شاهد حاصل شد. کاربرد گلاسیسین بتائین و تیمار گرمایی هر دو به یک نسبت موجب افزایش متعادل مواد جامد محلول در طول دوره انبارمانی در فلفل شده است (جدول ۱).

با افزایش زمان انبارمانی، مواد جامد محلول به صورت تابعی از زمان انبارمانی، روند افزایشی را طی می کند. تغییر مواد جامد محلول در مدت نگهداری با هیدرولیز پلی ساکاریدها و تغلیظ شدن عصاره میوه به دلیل کاهش آب میوه مرتبط می باشد (Kobayashi et al., 2008; Vargas et al., 2008). افزایش میزان قندها در پی تیمار گرمایی احتمالاً به این علت بوده است که قندهای خنثی حاصل از بقایای پلیمر پکتین به صورت محلول در می آیند. به کار بردن یک تیمار گرمایی ملایم آنزیم هایی را فعال می کند که منجر به القای آزاد شدن قندهای خنثی می گردد که در نتیجه، منجر به شیرین تر شدن میوه می شود (Beirao-da-Costa et al., 2006). طی گزارشی، تیمار گرمایی ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت پنج دقیقه در میوه گلابی، سبب افزایش مواد جامد محلول و شاخص طعم شدند (Hoseiny et al., 2014). به نظر می رسد افزایش مواد جامد محلول تحت تیمار گلاسیسین بتائین به تنظیم اسمزی این ترکیب مربوط می شود.

دهیدراسیون و آب از دست رفته از سطح میوه ها می باشد (Martinez-Romero et al., 2006). کاهش وزن فلفل در طول دوره انبارداری اتفاق افتاد که نتایج مشابه آن در میوه خرما (Phoenix *dactylifera*) و آووکادو (*Persea americana*) که کاهش وزن تر نسبت به شاهد صورت گرفت، گزارش شده است (Perez et al., 2004). کاهش وزن آثار سوئی بر کیفیت میوه ها و سبزی ها در طی دوره انبارداری دارد که با تیمار گرمایی می توان آن را کاهش داد. گزارشات نشان می دهد که پس از ۱۴ روز انبارداری در سرما، کاهش وزن لیموها و آلوهای تیمار شده با گرما، ۵۰ درصد کمتر از میوه های گرما ندیده بوده است. گرچه بروز آسیب های مکانیکی کاهش وزن زیادی ایجاد می کند، اما کاربرد آب گرم ۴۵ درجه سانتی گراد طی ۱۰ دقیقه، از طریق کم کردن تغییرات غشایی مرتبط با رسیدگی و افزایش اسیدهای چرب اشباع، در از دست رفتن وزن آلوهای دارای آسیب مکانیکی کاهش چشم گیری ایجاد نمود (Serrano et al., 2004). ثابت شده است که علت کم شدن کاهش وزن میوه در هنگام گرمادهی، ممکن است در اثر جذب آب در حین تیمار باشد (Serrano et al., 2004).

گلاسیسین بتائین از جمله ترکیباتی است که درون سیتوپلاسم بوده و از دهیدراته شدن و پلاسمولیز سلول ها در شرایط بالای اسمزی ممانعت به عمل می آورد (Taiz & Zaiger, 2006). جلوگیری از کاهش وزن میوه در طول مدت ذخیره سازی توسط گلاسیسین بتائین می تواند به دلیل اثر گلاسیسین بتائین بر فشار اسمزی و حفظ تعادل رطوبتی بافت میوه باشد (Ashraf and Foolad, 2007).

جدول ۱- مقایسات میانگین اثر متقابل گلیاسین بتائین، تیمار گرمایی و طول دوره انبارمانی بر کیفیت فلفل شیرین

مدت زمان انبارمانی (روز)	گلیاسین بتائین (میلی مولار)	تیمار گرمادهی متناوب (درجه سانتی گراد)	کاهش وزن (درصد)	مواد جامد محلول (درصد)	ویتامین ث (میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر)
		شاهد	۱۹/۹۳ ± ۲/۴۰	۵/۸۳ ± ۱/۳۶	۲۰/۲۳ ± ۱/۴۵
	۰	۲۰	۹/۴۲ ± ۰/۹۹	۴/۳ ± ۰/۵۵	۲۶/۷۴ ± ۵/۰۶
		۳۰	۹/۸۸ ± ۱/۵۳	۵/۶۴ ± ۰/۳۳	۲۲/۶۶ ± ۲/۸۶
		شاهد	۹/۱۶ ± ۲/۴۸	۵/۲۳ ± ۰/۳۳	۲۷/۳۲ ± ۲/۴۲
۱۰	۵	۲۰	۷/۱۵ ± ۰/۵۴	۵/۲۶ ± ۰/۰۶	۳۰/۸۴ ± ۴/۶۱
		۳۰	۸/۴۱ ± ۲/۸۹	۴/۹۳ ± ۰/۳۸	۳۰/۸۴ ± ۴/۱۹
		شاهد	۹/۵۴ ± ۰/۰۲	۴/۶۳ ± ۰/۲۹	۲۳/۰۹ ± ۱/۰۶
	۱۰	۲۰	۷/۹۹ ± ۱/۰۷	۴/۹۶ ± ۰/۵۷	۲۹/۷۲ ± ۷/۰۳
		۳۰	۸/۸۲ ± ۱/۵۷	۴/۲۴ ± ۰/۳۷	۲۸/۵۰ ± ۲/۰۱
		شاهد	۲۸/۱۷ ± ۳/۱۴	۶/۶۶ ± ۱/۴۵	۴۸/۵۰ ± ۴/۶۸
	۰	۲۰	۲۴/۴۲ ± ۰/۲۵	۵/۷۳ ± ۰/۳۳	۶۳/۹۵ ± ۵/۸۱
		۳۰	۲۴/۸۸ ± ۱/۱۵	۵/۳۳ ± ۰/۲۱	۶۲/۷۹ ± ۴/۰۲
		شاهد	۱۹/۲۶ ± ۲/۴۸	۵/۸۳ ± ۰/۱۶	۵۰/۳۲ ± ۳/۰۷
۲۰	۵	۲۰	۲۱/۱۵ ± ۰/۵۸	۴/۸۶ ± ۰/۰۸	۶۷/۸۴ ± ۴/۶۵
		۳۰	۱۸/۴۱ ± ۲/۶۸	۴/۳۰ ± ۰/۴۹	۶۵/۸۴ ± ۲/۳۲
		شاهد	۲۴/۵۴ ± ۰/۳۸	۵/۶۳ ± ۰/۳۳	۴۹/۰۴ ± ۳/۴۸
	۱۰	۲۰	۲۲/۹۹ ± ۱/۶۳	۵/۷۲ ± ۰/۱۳	۶۵/۷۲ ± ۳/۸۱
		۳۰	۱۹/۸۲ ± ۴/۲۱	۴/۹ ± ۰/۱۰	۶۲/۵۰ ± ۴/۰۲
		شاهد	۳۴/۹۳ ± ۹/۴۴	۷/۳۳ ± ۰/۲۱	۱۸/۷۹ ± ۴/۶۵
	۰	۲۰	۲۷/۴۲ ± ۲/۱۱	۵/۸۳ ± ۰/۴	۳۲/۷۹ ± ۲/۳۲
		۳۰	۲۹/۸۸ ± ۲/۰۹	۵/۱۷ ± ۱/۱۵	۲۵/۲۲ ± ۶/۱۵
		شاهد	۲۰/۴۳ ± ۳/۰۱	۴/۹۱ ± ۰/۲۸	۲۷/۳۲ ± ۳/۱۴
۳۰	۵	۲۰	۱۴/۱۵ ± ۰/۴۲	۵/۲۸ ± ۰/۷۶	۳۳/۸۴ ± ۳/۰۷
		۳۰	۱۸/۴۱ ± ۱/۴۴	۴/۳۰ ± ۰/۴۸	۳۰/۸۴ ± ۰/۰۵
		شاهد	۱۸/۵۴ ± ۱/۴۵	۳/۷۱ ± ۰/۳۰	۲۶/۰۹ ± ۰/۸۱
	۱۰	۲۰	۱۶/۹۹ ± ۲/۲۸	۴/۷۲ ± ۰/۱۱	۳۰/۷۲ ± ۲/۳۲
		۳۰	۱۷/۸۲ ± ۲/۵	۴/۲۴ ± ۰/۱۵	۲۷/۵۰ ± ۸/۰۵

داده‌ها میانگین سه تکرار می‌باشند و مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

ث کاسته شد. کاربرد تیمار گلیاسین بتائین و تیمار گرمادهی متناوب محتوای ویتامین ث را در طول مدت انبارمانی افزایش دادند و این افزایش نسبت به شاهد چشم‌گیر بود. حداکثر مقدار ویتامین ث

با توجه به نتایج به دست آمده، محتوای ویتامین ث با افزایش مدت انبارمانی رو به افزایش بوده و در روز ۲۰ انبارمانی بیش‌ترین مقدار را داشت. با افزایش مدت انبارمانی تا ۳۰ روز از میزان ویتامین



با غلظت ۱۰ میلی مولار گلايسين بتائين کمترین میزان محتوای کلروفیل (۰/۳۰ میلی گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد. تیمارهای گلايسين بتائين و تیمار گرمادهی متناوب موجب افزایش و حفظ محتوای کلروفیل نسبت به شاهد شدند و بیشترین محتوای کلروفیل (۰/۷۴ میلی گرم در گرم وزن تر) مقدار این شاخص تحت تیمار پنج میلی مولار گلايسين بتائين در تیمار عدم گرمادهی متناوب ۳۰ روز پس از انبارماني مشاهده شد.

تنش دمای پایین به طور مستقیم بر سیستم فتوسنتزی گیاه تأثیر می گذارد و بخش های اصلی نظیر غشای تیلاکوئید و رنگیزه های فتوسنتزی را تخریب می کند و سبب بروز آسیب در واکنش های کلروپلاست می شود (Holla *et al.*, 2007). فعالیت آنزیم کلروفیلاز و تجزیه کلروفیل و مشتقات آن در طی فرآیند بلوغ و پیری سبزی ها و میوه هایی نظیر توت فرنگی، لیمو عمانی، لیچی، خیار و کلم بروکلی گزارش شده است (Costa *et al.*, 2006; Win *et al.*, 2006; Nilsson, 2005; *al.*, 2006). به تأخیر انداختن زوال کلروفیل و حفظ بازارپسندی میوه لیموی بالغ و سبز رنگ توسط تیمار آب داغ با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ثابت شده است (Kaewsuksaeng *et al.*, 2011). با توجه به این که احتمالاً اولین مکان دریافت تنش سرما فتوسیستم II است و سبب کاهش فلورسانس این فتوسیستم و توقف فعالیت های فتوسنتزی می شود. در برخی مطالعات بهبود فتوسنتز در اثر کاربرد گلايسين بتائين بر گیاهان تحت تنش به تأثیر مثبت آن بر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو ربط داده می شود (Serraj & Sinclair, 2002). به نظر می رسد افزایش غلظت گلايسين بتائين موجب افزایش داخلی پیش ماده کولین شده و از تخریب کلروفیل و فعالیت آنزیم کلروفیلاز ممانعت کرده است. ساتو و همکاران (Sato *et al.*, 2004) بیان نمودند

(۶۷/۸۴ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه) تحت تیمار پنج میلی مولار گلايسين بتائين به همراه تیمار گرمادهی متناوب ۲۰ درجه سانتی گراد در طول مدت انبارماني ۲۰ روزه مشاهده شد (جدول ۱).

معمولاً میزان ویتامین ث در طی انبارماني دستخوش تخریب قرار می گیرد که دلیل آن مصرف این ویتامین به عنوان دهنده الکترون به اکسیدان ها برای خنثی کردن رادیکال های آزاد می باشد (Spinardi & Ferrante 2005). همان طور که از نتایج برمی آید، تیمار حرارتی و گلايسين بتائين از کاهش میزان ویتامین ث در طول مدت انبارماني در دمای پایین ممانعت کرده اند. حفظ ویتامین ث می تواند به دلیل به تأخیر انداختن پیری توسط تیمار گرمادهی متناوب و گلايسين بتائين باشد که سبب جلوگیری از تجزیه دیواره سلولی شده، تولید رادیکال های آزاد کاهش یافته؛ نیاز سلول به مصرف ویتامین ث کمتر شده و در نتیجه ویتامین ث در میوه حفظ گردیده است (Smirnoff & Stewart, 1985). مطابق با نتایج این مطالعه، گزارش شده است که محتوای اسید آسکوربیک قارچ دکمه ای تحت تیمار ۲/۵ میلی مولار گلايسين بتائين در طول مدت ذخیره سازی کاهش کمتری نشان داد (Wang *et al.*, 2015). همچنین، تیمار گرمایی در گوجه فرنگی سبز رسیده از افزایش مقدار ویتامین ث در مدت نگهداری در دمای پایین جلوگیری کرده است.

#### محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

طبق نتایج مشاهده شده از مقایسات میانگین (جدول ۲)، محتوای کلروفیل فلفل به تدریج با افزایش مدت زمان انبارماني روند کاهشی نشان داد. به طوری که در ۳۰ روز پس از انبارماني در میوه های تیمار شده با گرمای متناوب ۳۰ درجه سانتی گراد و

بتائین به‌عنوان محافظ اسمزی در برابر تنش عمل می‌کند، افزایش آن به‌منظور تنظیم اسمزی سلول همراه با افزایش کاروتنوئید که نقش محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی دارد، انجام می‌گیرد (Lawlor & Cornic, 2002). افزایش غلظت گلایسین بتائین خارجی موجب افزایش پیش‌ماده داخلی آن و افزایش کاروتنوئید به‌منظور حفظ ساختار و ثبات غشاء و رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش می‌شود (Harinasut et al., 1996). در این راستا در گیاه ذرت، گلایسین بتائین به‌مقدار ۱۵۰ پی‌پی‌ام روند افزایشی در میزان کاروتنوئید را نشان داد (Miri & Zamaemoghadam, 2014).

#### نشت یونی

طبق نتایج، نشت یونی با افزایش مدت زمان انبارمانی روند افزایشی داشته و بیش‌ترین مقدار آن (۸۰/۰۲ درصد) در دمای صفر درجه سانتی‌گراد و با غلظت صفر میلی‌مولار گلایسین بتائین در روز ۳۰ انبارمانی مشاهده شد. تیمارهای گرمادهی متناوب و گلایسین بتائین در طی دوره انبارمانی میزان نشت یونی را نسبت به شاهد کاهش دادند. کمترین مقدار نشت یونی (۵۰/۵۳ درصد) تحت تیمار پنج میلی‌مولار گلایسین بتائین به همراه تیمار گرمادهی متناوب ۲۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان انبارمانی ۳۰ روزه مشاهده شد (جدول ۲).

تنش سرما از طریق تأثیر بر نفوذپذیری سبب افزایش نشت محلول‌های سلولی می‌شود (Rab & Salveit, 1996). این رادیکال‌های آزاد درون سلول در غلظت‌های زیاد سلولی سمی‌اند و سبب پراکسیده شدن لیپیدهای غشای سلولی و اندامک‌ها می‌شوند و در نتیجه‌ی آن ظهور صدمات ناشی از تنش سرما در گیاهان است. ضمن این‌که این رادیکال‌ها بسیار واکنش‌گرند و می‌توانند با

گلایسین بتائین موجب حفظ غشاهای سلولی از خطرات پساایدگی و جلوگیری از کاهش مقدار کلروفیل می‌شود.

نتایج نشان داد که محتوای کاروتنوئید با افزایش دوره انبارمانی تا روز ۲۰ انبارمانی روند افزایشی داشته و بعد از آن رو به کاهش می‌باشد. تیمارهای گلایسین بتائین و تیمار گرمادهی متناوب از کاهش محتوای کاروتنوئید در طی دوره انبارمانی جلوگیری کرده و میزان این شاخص را بهبود بخشیدند. به‌طوری‌که حداکثر محتوای کاروتنوئید (۰/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در میوه‌های تیمار شده با پنج میلی‌مولار گلایسین بتائین به همراه تیمار گرمادهی متناوب ۲۰ درجه سانتی‌گراد در طول مدت انبارمانی ۱۰ روز مشاهده شد. در واقع تیمارهای گلایسین بتائین و تیمار گرمادهی متناوب موجب حفظ محتوای کاروتنوئید نسبت به شاهد (۰/۱۰ میلی‌گرم) در طول مدت انبارمانی شدند (جدول ۲).

افزایش کاروتنوئیدها به هنگام تنش به این علت است که آن‌ها در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از اکسیداسیون نوری کلروفیل‌ها مؤثر می‌باشند (Lawlor & Cornic, 2002). به‌نظر می‌رسد افزایش میزان کاروتنوئید تحت تیمار گرمادهی متناوب، مربوط به اثرات این تیمار در کاهش تنفس و تولید اتیلن باشد که موجب کاهش سرعت پیری شده، سرعت تولید رادیکال‌های آزاد را کاهش داده و در نتیجه موجب کاهش مصرف آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند کاروتنوئیدها می‌شود. مطابق با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، گزارش شده است که میزان کاروتنوئید در گیاهان مختلف در طول مدت نگهداری در دمای پایین رو به افزایش بوده و تیمار گرمادهی متناوب مقدار این شاخص را به‌طور متعادل‌تری افزایش داده و موجب حفظ آن در طول دوره انبارداری می‌شود (Lawlor

ليگنين و پاسخ به تنش های زنده و غيرزنده دخالت داشته؛ به عنوان پذيرنده الكترون عمل می کند و از اين طريق سبب مهار گونه های فعال اكسيژن می شود (Quiroga *et al.*, 2000). تجمع گلايسين بتائين علاوه بر کاهش مستقيم آسیب های ناشی از تنش اكسيداتيوي می تواند با حفاظت از آنزيم های درگير در سيستم أنتی اكسيدانی از جمله پراكسيداز به مهار ROS كمك كند (Ashraf & Foolad, 2007). میزان خسارت ناشی از ROS با افزایش سطوح فعاليت آنزيم پراكسيداز از گیاه می تواند تقليل يابد. در گیاه ذرت تحت تنش كم آبی، تأثیر گلايسين بتائين بر افزایش میزان فعاليت آنزيم های SOD، POD و CAT تأييد شده است (Anjum *et al.*, 2012).

از طرفی گرما در بافت های گیاهی، القای تنش اكسيداتيوي کرده و گونه های فعال اكسيژن (Reactive Oxygen Species) (ROS) از جمله سوپراكسيد و پراكسيد هيدروژن را توليد می کند. مطالعات نشان می دهد كه گرما فعاليت أنتی اكسيدانی میوه ها و سبزی ها را به دليل افزایش خواص أنتی اكسيدانی تركيبات طبيعي يا تشكيل تركيبات جديد مانند محصولات واكنش ميلارد كه فعاليت أنتی اكسيدانی دارند، افزایش می دهد (Manzocco *et al.*, 2001). در اين راستا گزارش شده است كه میوه گوجه فرنگی تحت تیمار آب گرم به مدت ۱۰ دقیقه افزایش فعاليت پراكسيداز و کاتالاز را در دمای ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد نشان داده و پوسیدگی میوه گوجه فرنگی با افزایش فعاليت کاتالاز و پراكسيداز کاهش پیدا کرد (Boonkorn, 2016).

خارج کردن  $H^+$  از فسفولپيدها موجب تشكيل راديكال فعال اسيد چرب شوند و راديكال اسيد چرب در حضور اكسيژن با توليد پراكسيد اسيد چرب، ضمن تخریب چربی ها و پروتئين ها راديكال های بیشتری توليد می کند (Taiz & Zeiger., 2006). یکی از مهم ترین وظايف گلايسين بتائين به عنوان محافظ اسمزی، تنظيم پتانسيل اسمزی و محافظت از نفوذ پذیری غشای سلول است كه سبب حفظ و ثبات غشای سلولی در برابر پراكسيداسيون و در نتیجه نشت مواد داخل به خارج سلول می شود (Park *et al.*, 2006). مطابق با نتایج اين مطالعه، در میوه های انار كه با گلايسين بتائين خارجی تیمار شده بودند، مقدار نشت یونی به طور معنی داری کاهش یافت (Malekzadeh & Hatamnia., 2015).

#### فعاليت آنزيم پراكسيداز

میزان فعاليت آنزيم پراكسيداز در طی مدت زمان انبارماني تا روز ۲۰ انبارماني رو به کاهش بوده و در روز ۳۰ انبارماني افزایش پیدا کرد ولی میزان افزایش آن زياد چشمگیر نبود. تیمارهای آزمایشی گلايسين بتائين و تیمار گرمادهی متناوب از کاهش فعاليت آنزيم پراكسيداز طی دوره انبارماني جلوگیری کرده و افزایش اين شاخص را نسبت به شاهد در پی داشتند. بیشترین میزان فعاليت آنزيم پراكسيداز (۵۰/۵۵ درصد) تحت تیمار پنج میلی مولار گلايسين بتائين به همراه تیمار گرمادهی متناوب ۲۰ درجه سانتی گراد در طول مدت نگهداری ۳۰ روزه مشاهده شد (جدول ۲).

پراكسيداز در گیاهان دارای چندین وظیفه ی فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده و در ایجاد پیوند با مولكول های دیواره سلولی، اكسایش اكسين، توليد

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر متقابل گلايسين بتائين، تیمار گرمایی و طول دوره انبارمانی بر کیفیت فلفل شیرین

مدت زمان انبارمانی (روز)	گلايسين بتائين (میلی مولار)	تیمار گرمادهی متناوب (درجه سانتی‌گراد)	محتوای کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تر)	محتوای کلروفیل (میلی گرم در گرم وزن تر)	نشت یونی (درصد)	آنزیم پراکسیداز (درصد)
		شاهد	۰/۱۰ ± ۰/۰۳	۰/۴۰ ± ۰/۰۲	۶۲/۰۲ ± ۴/۸۴	۷/۱۱ ± ۱/۱۸
	۰	۲۰	۰/۱۷ ± ۰/۰۲	۰/۴۶ ± ۰/۰۵	۵۷/۵۶ ± ۵/۶۵	۱۰/۷۲ ± ۱/۴۱
		۳۰	۰/۱۳ ± ۰/۰۱	۰/۴۲ ± ۰/۰۲	۵۹/۹۹ ± ۴/۶۲	۹/۰۴ ± ۳/۵۸
		شاهد	۰/۱۲ ± ۰/۰۱	۰/۴۷ ± ۰/۰۱	۵۸/۹۷ ± ۵/۸۴	۱۲/۳۸ ± ۳/۲۶
۱۰	۵	۲۰	۰/۳۸ ± ۰/۰۲	۰/۴۴ ± ۰/۰۴	۵۲/۵۳ ± ۱/۱۲	۱۵/۵۵ ± ۰/۹۸
		۳۰	۰/۱۴ ± ۰/۰۱	۰/۴۲ ± ۰/۰۱	۵۲/۲۲ ± ۱/۱۷	۱۴/۵۵ ± ۰/۳۲
		شاهد	۰/۱۱ ± ۰/۰۰	۰/۴۲ ± ۰/۰۱	۶۰/۵۶ ± ۳/۹۶	۱۰/۱۵ ± ۰/۳۴
	۱۰	۲۰	۰/۱۴ ± ۰/۰۱	۰/۴۰ ± ۰/۰۲	۵۲/۳۶ ± ۲/۳۱	۱۲/۰۶ ± ۰/۶۷
		۳۰	۰/۱۲ ± ۰/۰۱	۰/۴۴ ± ۰/۰۲	۵۵/۸۶ ± ۴/۵۳	۹/۳۳ ± ۴/۵۵
		شاهد	۰/۱۶ ± ۰/۰۱	۰/۳۹ ± ۰/۰۳	۷۴/۵۳ ± ۵/۷۰	۴/۶۲ ± ۱/۲۱
	۰	۲۰	۰/۲۰ ± ۰/۰۲	۰/۵۶ ± ۰/۱۱	۶۸/۵۶ ± ۷/۵۱	۶/۰۷ ± ۱/۸۹
		۳۰	۰/۱۷ ± ۰/۰۲	۰/۵۲ ± ۰/۰۸	۶۹/۹۹ ± ۵/۶۴	۵/۹۵ ± ۲/۹۸
		شاهد	۰/۱۹ ± ۰/۰۲	۰/۵۳ ± ۰/۰۷	۶۰/۸۱ ± ۵/۳۳	۱۳/۹۶ ± ۰/۹۸
۲۰	۵	۲۰	۰/۲۷ ± ۰/۰۲	۰/۵۶ ± ۰/۰۵	۵۶/۵۳ ± ۴/۶۷	۲۰/۳۳ ± ۲/۲۰
		۳۰	۰/۲۲ ± ۰/۰۱	۰/۴۴ ± ۰/۰۱	۶۱/۲۲ ± ۲/۳۴	۱۲/۵۵ ± ۰/۹۹
		شاهد	۰/۱۶ ± ۰/۰۱	۰/۴۹ ± ۰/۰۵	۵۹/۵۶ ± ۲/۸۱	۱۲/۱۵ ± ۱/۹۲
	۱۰	۲۰	۰/۱۹ ± ۰/۰۲	۰/۵۴ ± ۰/۰۵	۵۲/۳۶ ± ۲/۷۱	۱۸/۰۶ ± ۲/۷۷
		۳۰	۰/۱۵ ± ۰/۰۱	۰/۴۲ ± ۰/۰۱	۵۵/۸۶ ± ۱/۷۳	۱۶/۳۳ ± ۱/۵۱
		شاهد	۰/۱۲ ± ۰/۰۲	۰/۳۵ ± ۰/۰۱	۸۰/۰۲ ± ۱/۸۴	۱۳/۸۴ ± ۱/۷۸
	۰	۲۰	۰/۱۶ ± ۰/۰۱	۰/۵۹ ± ۰/۰۳	۶۰/۵۶ ± ۲/۲۹	۳۰/۷۲ ± ۴/۳۱
		۳۰	۰/۱۳ ± ۰/۰۱	۰/۶۷ ± ۰/۰۶	۶۵/۹۹ ± ۶/۰۱	۲۹/۰۴ ± ۳/۹۵
		شاهد	۰/۲۹ ± ۰/۰۱	۰/۷۴ ± ۰/۰۵	۵۶/۸۱ ± ۰/۸۷	۳۲/۰۸ ± ۵/۶۶
۳۰	۵	۲۰	۰/۲۱ ± ۰/۰۰	۰/۵۹ ± ۰/۰۶	۵۰/۵۳ ± ۴/۴۵	۵۰/۵۵ ± ۴/۰۳
		۳۰	۰/۱۱ ± ۰/۰۳	۰/۴۲ ± ۰/۰۷	۵۳/۲۲ ± ۷/۵۷	۳۴/۵۵ ± ۵/۸۳
		شاهد	۰/۱۸ ± ۰/۰۲	۰/۵۶ ± ۰/۰۶	۵۹/۵۶ ± ۲/۶۵	۲۷/۱۵ ± ۳/۴۴
	۱۰	۲۰	۰/۲۶ ± ۰/۰۲	۰/۳۸ ± ۰/۰۶	۵۵/۳۶ ± ۲/۲۳	۲۲/۰۶ ± ۳/۹۷
		۳۰	۰/۲۲ ± ۰/۰۱	۰/۳۰ ± ۰/۰۷	۵۵/۸۶ ± ۱/۲۰	۲۰/۳۳ ± ۰/۸۱

داده‌ها میانگین سه تکرار می‌باشند و مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، تیمارهای گرمادهی متناوب و گلايسين بتائين بر محتوای مواد جامد محلول، اسیدپتیه عصاره، ویتامین ث، محتوای کلروفیل، محتوای کاروتنوئید و فعالیت آنزیم پراکسیداز اثرات مثبتی داشتند و

موجب بهبود کیفیت میوه فلفل در مدت زمان نگهداری در دمای پایین شدند. همچنین، این تیمارها از کاهش وزن محصول جلوگیری کرده و موجب کاهش نشت یونی در طول مدت نگهداری شدند. بین سطوح مختلف تیمار گرمادهی متناوب و گلیسین بتائین، گرمادهی با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و گلیسین بتائین با غلظت پنج میلی‌مولار در بهبود خصوصیات کیفی فلفل مفیدتر واقع شدند.

## References

- Anjum, S. A., Saleem, M. F., Wang, L. C., Bilal, M. F. & Saeed, A. (2012). Protective role of glycine betaine in maize against drought-induced lipid peroxidation capacity of antioxidative system. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 576-583.
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 5(23), 112-121.
- Arya, S. P. N. (2000). Spectrophotometric methods for the determination of vitamin C. *Analytica Chimica Acta*, 417, 1-14.
- Ashraf, M. & Foolad M. R. (2007). Roles of glycine betaine proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216.
- Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B. & Moran, R. (1987). Individual seal-packaging enables the use of curing at high temperatures to reduce decay and heal injury of citrus fruits. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 29(3), 75-90.
- Ben-Yehoshua, S., Rodov, V. D'hallewin, D. & Dore, A. (2004). Elicitation of resistance against pathogens in citrus fruits by combined UV illumination and heat treatments. *International Postharvest Symposium*, 682, 2013-2020
- Beirao-da-Costa, S. Steiner, A. Correia, L. Empis, J. & Moldao-Martins, M. (2006). Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 616-625.
- Boonkorn, P. (2016). Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruits. *International Food Research Journal*, 23(3), 934-938.
- Chen, T. H. H. & Murata, N. (2002). Enhancement of tolerance to abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Current Opinion in Plant Biology*, 5, 250-257.
- Ding, T., Pang, J., Wang, Q., Yang, N. & Gao, L. P. (2012). Effect of exogenous glycine betaine treatment on chilling injury of hot pepper. *Guang Dong Agriculture Science*, 21, 52-55.
- Daneshvar, M. (2005). Growing vegetables (5th ed.). *University of Shahid Chamran*. (In Farsi)
- Ezhilmathi, K., Singh, V. P., Arora, A. & Sairam, R. K. (2007). Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of Gladiolus cut flowers. *Plant Growth Regulation*, 51(2), 99-108.
- Ghanati, F., Morita, A. & Yokota, H. (2002). Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cells. *Soil Science and Plant Nutrition*, 48(3), 357-364.

- Gonzalez-Aguilar, G. A., Buta, J. G. & Wang, C. Y. (2003). Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya 'Sunrise'. *Postharvest Biology and Technology*, 28(3), 361-370.
- FAO. (2010). FAOSTAT [online]. Available at.
- Harinasut, P., Tsutsui, K., Takabe, T., Nomura M. & Kishitani, S. (1996). Exogenous glycine betaine accumulation and increased salt tolerance in rice seedlings. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 60, 366-368.
- Hola, D. M., Kocova, M., Rothova, O., Wilhelmova, N. & Benesove, M. (2007). Recovery of maize (*Zea mays* L.) inbreds and hybrids from chilling stress of various duration: Photosynthesis and antioxidant enzymes. *Journal of Plant Physiology*, 164, 868-877.
- Hoseiny, M. S., Babalar, M. & Asghari, M. A. (2014). Effect of putrescin and heat treatment on pear quality postharvest (*Pyrus communis*) Spadona cultivar. *Iranian Horticultural Science*, 45(3), 225-234. (In Farsi)
- Kaewsuksaeng, S., Urano, Y., Aiamlao, S., Shigyo M. & Yamauchi, N. (2011). Effect of UV-B irradiation on chlorophyll-degrading enzyme activities and postharvest quality in stored lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 61, 124-13
- Kobayashi, F., Maeta, E., Terashima, A. & Takumi, S. (2008). Positive role of a wheat HvABI5 ortholog in abiotic stress response of seedlings. *Physiologia Plantarum*, 134 (1), 74-86.
- Lawlor, D. W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 25(2), 275-294.
- Lingle, S. E. & Dunlap, J. R. (1987). Sucrose metabolism in netted muskmelon fruit during development. *Plant Physiology*, 84(2), 386-389.
- Malekzadeh, P. (2015). Influence of exogenous application of glycinebetaine on antioxidative system and growth of salt- stressed soybean seedlings (*Glucine max* L.). *Physiology and Molecular biology of Plants*, 20, 133-137.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M. C. & Lericci, C. R. (2001). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science Technology*, 11, 340-346.
- Malekzadeh, P. & Hatamnia, A. A. (2015). Effect of glycine betaine treatment on reducing cold damage to pomegranate fruit during storage. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 10(38), 39-47.
- Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J.M., Guillén, F., Castillo, S., Valero & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: A new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93-100.
- Mencarelli, F., Lipton, W. J. & Peterson S. J. (1983). Responses of 'Zucchini' squash to storage in low-O<sub>2</sub> atmospheres at chilling and non-chilling temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108, 884-890.
- Meng, X., Li, B., Liu, J. & Tian, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, 106, 501-508.
- Mirdehghan, S. H., Rahemi, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P. J., Serrano, M. & Valero, D. (2007) Reduction of pomegranate chilling

- injury during storage after heat treatment: role of polyamines. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 19-25.
- Miri, H. R. & Zamaemoghadam, A. (2014). External application of glycine betaine to reduce the effects of drought stress in corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agronomy Research*, 12(4), 704-717. (In Farsi)
  - Nilsson, T. (2005). Effects of ethylene and 1-MCP on ripening and senescence of European seedless cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 113-125.
  - Park, E. J., Jeknic Z. & Chen T. H. (2006). Exogenous application of glycinebetaine increases chilling tolerance in tomato plants. *Plant Cell Physiology*, 47, 706-714.
  - Perez, K., Mercado, J. & Valdez, H. S. (2004). Effect of storage temperature on the shelf life of Hass avocado (*Persea Americana*). *Food Science and Technology International*, 10, 73-77.
  - Quiroga, M., Guerrero, C., Botella, M. A., Barcelo, A., Amaya, I., Medina, M. I., Alocso, F. J., De Forchetti, S. M., Tigier, H. & Valpusesta, V. (2000). A tomato peroxidase involved in the synthesis of lignin and suberin. *Plant Physiology*, 122, 1119-1127.
  - Rab, A. & Salveit, M. E. (1996). Differential chilling sensitivity in cucumber seeding. *Physiologia Plantarum*, 96, 375-382.
  - Rodríguez-Zapata, L. C., Gil, F. L. E., Cruz-Martínez, S., Talavera-May, C. R., Contreras- Marin, F. & Fuentes, G. (2015). Preharvest foliar applications of glycine-betaine protects banana fruits from chilling injury during the postharvest stage. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2, 6-16.
  - Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Urugami, A. & Tokuda, S. (2004). Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low- temperature storage in darkness. *Scientia Horticulturae*, 101, 349-357.
  - Serraj, R. & Sinclair, T. R. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. *Plant, Cell and Environment*, 25, 333-341.
  - Seaidpor, F., Sayyari, M. & Ghanbari, F. (2015), Effect of glycine betaine on frost resistance of cucumber seedlings. *Journal of Agricultural Agriculture*, 17(1), 53-67.
  - Serrano, M., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Guillen, F. & Valero, D. (2004). Role of calcium and heat treatments in alleviating physiological changes induced by mechanical damage in plum. *Postharvest Biology and Technology*, 34, 155-167.
  - Singthong, J. & Thongkaew, C. (2009). Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. *Food Science and Technology*, 42(7), 1199-1203.
  - Shan, T., Jin, P., Zhang, Y., Huang, Y. & Wang, X. (2016). Exogenous glycine betaine treatment enhances chilling tolerance of peach fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 104-110.
  - Smith, S. C., Allen, J., Blair, S. N., Bonow, R. O., Brass, L. M., Fonarow, G. C., Grundy, Smirnoff, N. & Stewart, G. R. (2006). Stress metabolites and their role in coastal plants. *Vegetation*, 62, 273-278.
  - Spinardi, A. & Ferrante, A. (2005). Effect of storage temperature on quality changes of minimally processed baby lettuce. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(1), 38-42.
  - Stow, J. (1993). Effect of calcium ions on apple fruit softening during storage and ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 3(1), 1-9.

- Sun, Y. J., Jin, P., Shan, T. M., Xu J. & Zheng, Y. H. (2014). Effect of glycinebetaine treatment on postharvest chilling injury and active oxygen metabolism in loquat fruits. *Food Science*, 35, 210-215.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* (4th ed.). Sinauer Associates, Inc., Sunderland.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. J. & Gonzalez-Martinez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(6), 496-511.
- Vicente, A. R., Martínez, G. A., Civello, P. M. & Chaves, A. R. (2002) Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 25, 59-71.
- Wang, Z. G., Chen, L. J., Yang, H. & Wang, A. J. (2015). Effect of exogenous glycine betaine on qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *European Food Research and Technology*, 240, 41-48.
- Win, T. O., Srilong, V., Heyes, J., Kyu, K. L. & Kanlayanarat, S. (2006). Effects of different concentrations of 1-MCP on the yellowing of West Indian lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 42, 23-30.
- Zhaogai, W., Lijun, C., Hui, Y. & Anjian, W. (2015). Effect of exogenous glycinebetaine qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during Postharvest storage. *European Food Research and Technology*, 240, 41-48.