University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Effect of Preharvest Application of NaHS on Increasing Storage Life and Maintaining Post-harvest Quality of Kiwi Fruit (Actinidia deliciosa L. 'Hayward')

Mahshid Ghafouri[1], Farhang Razavi [2]✉, Masoud Arghavani[3], Ebrahim Abedi Gheshlaghi[4]

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: mahshidghafouri@znu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: razavi.farhang@znu.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: arghavani@znu.ac.ir
4. Department of Horticulture Crops Research, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran. E-mail: eabedig@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 19 April 2022

Received: 10 June 2022

Accepted: 13 September 2022

Published online: 21 March 2023

Keywords:

Antioxidant capacity,

Ascorbic acid,

Flavonoids,

Total phenol.

ABSTRACT

The present research was conducted to investigate the efficacy of preharvest NaHS application as foliar spraying on the quality and antioxidant capacity of kiwifruits cv. Hayward during cold storage.

In the present investigation, the effects of a preharvest treatment with H_2S donor NaHS in four levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mM) at 110, 125, and 140 days after full bloom on nutritional quality and antioxidant capacity of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* 'Hayward') were evaluated during 90 days of storage at 1 °C and 90% relative humidity. Sampling was done to measure the desired traits during four periods of 0, 30, 60 and 90 days after storage.

The results showed that NaHS treatment had a significant effect on the evaluated traits. At the end of 90 days of storage, NaHS treatment prevented fruit weight loss and maintained fruit firmness in comparison to the control. The percentage of electrolyte leakage and the amount of accumulated malondialdehyde (MAD) in all concentrations of NaHS was lower in comparison to the control. Preserving ascorbic acid content and increasing the activity of phenylalanine ammonialyase (PAL) lead to higher production of total phenol and flavonoids and improve the antioxidant capacity of fruits. NaHS treatment decreased the activity of polyphenol oxidase in comparison to the control.

NaHS at 1.5 mM showed the best effect among the applied treatments. According to the obtained results, this concentration can be recommended as a suitable treatment to maintain the quality of kiwifruit cv. Hayward.

Cite this article: Ghafouri, M., Razavi, F., Arghavani, M. & Abedi Gheshlaghi, E. (2023). Effect of Preharvest Application of NaHS on Increasing Storage Life and Maintaining Post-harvest Quality of Kiwi Fruit (Actinidia deliciosa L. 'Hayward'). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (1), 85-104. DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2022.341262.2019

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2022.341262.2019

Extended Abstract

Introduction

Using of natural and organic compounds without harmful environmental effects in the production of horticultural products is considered as a new idea in reducing waste before and after harvesting, as well as increasing the storage life of horticultural products and maintaining antioxidant activity in developed agriculture. Pre-harvest application of nutrient solutions, such as H2S donor NaHS, increases the quality and quantity of crop and enhances its storage life and marketability. H2S is currently considered as the third gas signal after nitric oxide and carbon monoxide. Hydrogen sulfide is used as a signaling molecule to reduce chilling injury, delay senescence, and maintain the quality of horticultural products during cold storage. Hydrogen sulfide is produced through enzymatic reactions in many plant species and plays diverse roles in different physiological processes. In addition, this substance acts as an antioxidant molecule to deal with abiotic

stresses by reducing the biosynthesis of ROS and increasing the activity of antioxidant enzymes. The H2S donor NaHS treatment has been reported to alleviate chilling injury of hawthorn fruit during cold storage by promoting H2S accumulation via triggering L-cysteine desulfhydrase and D-cysteine desulfhydrase enzymes activity. Treated fruit also showed higher DPPH scavenging capacity by enhancing phenolic compounds accumulation and antioxidant enzyme activity (Aghdam et al., 2018). Luo et al. (2015) reported that the attenuating banana fruits chilling injury by exogenous NaHS (0.5 mM) applying may be attributed to higher endogenous proline accumulation arising from higher pyrroline-5-carboxylate synthetase activity and lower proline dehydrogenase activity accompanied by greater accumulation of phenolic compounds arising from higher PAL activity. Moreover, malondialdehyde, H2O2 and superoxide anion accumulation were reduced by H2S treatment with up-regulated ROS scavenging enzyme activities including catalase, guaiacol peroxidase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase, which are beneficial for keeping membrane integrity (Luo et al., 2015).

Material and Methods

The experiment was carried out on 10-year-old kiwifruit vines, in a commercial orchard, located in Gilan Province. Vines were selected with uniform size in terms of growth, yield and fruit load, then sprayed with NaHS at four levels of 0, 0.5, 1 and 1.5 mM. and control vines received only distilled water. Foliar spraying was performed in three stages, (110, 125 and 140 days after full bloom stage) and Tween 20 was used as a surfactant. This experiment was designed based on a factorial and a randomized complete block design with three replications. The fruits were harvested in November with soluble solids content (TSS) of 6.5-6.2% and then transferred to the post-harvest physiology laboratory of the University of Zanjan. The treated fruits were stored for 90 days at 1 ° C with 90% RH. Sampling was done at harvest time and after 30, 60 and 90 days of storage and some quantity and quality traits such as weight loss, tissue firmness, TSS, total acid (TA), ascorbic acid, electrolyte leakage (EL), malondialdehyde (MAD), total phenol and flavonoids, antioxidant capacity, and also the activity of polyphenol oxidase (PPO) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) enzymes were evaluated.

Results and Discussion

The ANOVA results showed that NaHS, storage time, and interaction of NaHS and storage time had a significant effect ($p \leq 0.01$) on evaluated traits. All treatments maintained the antioxidant capacity, total phenol and flavonoids content and PAL activity at a higher level compared with control. The amount of fruit tissue firmness, TA and ascorbic acid decreased by increasing the storage time, and at the third month of storage, the lowest amount was observed in the control fruit. Also, comparing the interaction of the mean of treatments and storage time showed that weight loss, TA, TSS, antioxidant capacity, total phenol, flavonoids and PAL enzyme activity increased during storage time. At the end of the storage time, the highest level of TSS, weight loss, PPO enzyme activity were observed in the control fruit. The lowest antioxidant capacity (52.63 %) was observed in the control treatment at harvest time and the highest in 1.5 mM of NaHS treatment at the end of storage period. Comparing the means showed that at the first 30 days of storage, the highest PAL enzyme activity occurred in the treatment of 1.5 mM of NaHS. Treatment of 1.5 mM NaHS had higher PAL activity. The direct and positive relationship of this enzyme with the synthesis of phenols and flavonoids has been discovered in the fruits of blood orange, strawberry and blueberry. The results of the comparison of the means showed that the total phenol and flavonoids increased during storage time. The lowest total phenol (23 mg GAE.100 g-1 FW) was observed in control fruit at harvest time and the highest (57.99 mg GAE.100 g-1 FW) content of total phenol occurred in 1.5 mM of NaHS at the third month of storage. Plants release phenolic compounds in response to some messenger compounds that play an important defense role. Studies showed that there is a positive relationship between total phenol content and their antioxidant activity. Also, the concentration of 1.5 mM NaHS maintained high levels of vitamin C and firmness of fruit tissues, slowed down fruit weight loss, and decreased ion leakage and accumulation of malondialdehyde and hydrogen peroxide compared to other treatments.

Conclusion

NaHS at 1.5 mM showed the best effect among the applied treatments and according to the obtained results, this concentration can be recommended as a suitable treatment to maintain the quality of kiwifruit cv. Hayward.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۴، شماره ۱

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

تأثیر محلول‌پاشی قبل‌ازبرداشت سولفید هیدروژن سدیم بر افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت پس از برداشت میوه کیوی رقم هایوارد

مهشید غفوری[۱] | فرهنگ رضوی[۲] ✉ | مسعود ارغوانی[۳] | ابراهیم عابدی قشلاقی[۴]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: mahshidghafouri@znu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران. رایانامه: razavi.farhang@znu.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: arghavani@znu.ac.ir

۴. بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: eabedig@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

اسیدآسکوربیک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید، فنل کل.

چکیده

پژوهش حاضر به هدف بررسی تاثیر محلول‌پاشی برگی با سولفید هیدروژن سدیم برای افزایش کیفیت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه کیوی رقم هایوارد در طول انبار سرد انجام شد

در این مطالعه تأثیر تیمار قبل‌ازبرداشت سولفید هیدروژن سدیم (آزاد کننده ترکیب سیگنال دهنده (H2S) در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) در ۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۴۰ روز بعد از مرحله تمام گل بر کیفیت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه کیوی رقم هایوارد طی۹۰ روز نگهداری در دمای۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌برداری جهت سنجش صفات مورد نظر طی چهار دوره صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از انبارمانی انجام گرفت.

نتایج بدست آمده حاکی از تـأثیر معنی‌دار تیمار سولفید هیدروژن سدیم بر صفات مورد ارزیابی بود. تیمار سولفید هیدروژن سدیم در پایان ۹۰ روز انبارمانی، باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه‌ها و حفظ سفتی بافت میوه نسبت به تیمار شاهد شد. میزان نشت یونی و تجمع مالون دی‌آلدئید درهمه غلظت‌های سولفید هیدروژن سدیم در مقایسه با شاهد روند کاهشی داشتند و همچنین با حفظ اسید آسکوربیک و افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز باعث افزایش تولید فنل و فلاونوئید کل شد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها را بهبود بخشید. تیمار سولفید هیدروژن سدیم فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد.

غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سولفید هیدروژن سدیم بهترین تـأثیر را در بین تیمارهای اعمال شده نشان داد و با توجه به نتایج به‌دست آمده این غلظت می‌تواند در مقیاس وسیع به‌عنوان راهکار مناسب جهت افزایش کیفیت میوه کیوی رقم هایوارد قابل توصیه باشد.

استناد: غفوری، مهشید؛ رضوی، فرهنگ؛ ارغوانی، مسعود؛ و عابدی قشلاقی، ابراهیم (۱۴۰۲). تأثیر محلول‌پاشی قبل‌ازبرداشت سولفید هیدروژن سدیم بر افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت پس از برداشت میوه کیوی رقم هایوارد. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۱)، ۱۰۴-۸۵. DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2022.341262.2019

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2022.341262.2019

مقدمه

کیوی‌فروت گوشت سبز با نام علمی *Actinidia deliciosa* L. از تیره Actinidiaceae می‌باشد. فراوان‌ترین رقم کیوی‌فروت که به صورت تجاری کشت می‌شود رقم هایوارد است. میوه هایوارد با وزنی حدود ۷۵ تا ۲۰۰ گرم و طول ۵۵ تا ۷۰ میلیمتر و عرض ۴۰ تا ۵۰ میلیمتر نسبت به بقیه ارقام، درشت‌تر، دارای کیفیت بهتر و صادراتی است. شکل و اندازه آن کاملاً یکنواخت، موزون و بازارپسند است (Abedini., 2009). کیوی فروت بسیار مغذی و سرشار از اسید اسکوربیک، فیبر غذایی، فنولیک، فلاونوئید، کاروتنوئید و مواد معدنی، انواع ویتامین‌های A، B، C و E است. همچنین حاوی موادی مانند تانن، روی ، فسفر، سدیم ، پتاسیم و ترکیبات فیبری می‌باشد. هر ۱۰۰ گرم آن ۳۰۰ میلی‌گرم ویتامین C دارد که تقریباً ۲ برابر میزان موجود در مرکبات است (Du *et al*., 2009). در کیوی فروت همبستگی بالایی بین ترکیبات فنلی و اسید آسکوربیک با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد و سهم اسید آسکوربیک در فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل برابر با فنل‌ها است (Park *et al*., 2011). این میوه به علت داشتن ویتامین C و مواد معدنی می‌تواند به عنوان یک عامل ضد سرطان نیز عمل کند و همچنین به خاطر دارا بودن عطر و طعم خوش و ارزش غذایی و دارویی فراوان، یکی از محبوب‌ترین میوه‌ها در جهان به‌شمار می‌آید (Ferguson & Ferguson, 2003). طبق آمار فائو در سال ۲۰۲۰، میزان تولید کیوی‌فروت در جهان بیش از چهار میلیون تن بوده است که ایران با تولید بیش از ۳۴۴ هزار تن در رتبه چهارم تولید جهانی قرار گرفته است (FAO, 2020). این مقدار با رعایت اصول باغداری و یافته‌های تحقیقاتی کاربردی، تا حدود دو برابر قابل افزایش است. عملیات مختلف کشاورزی، عوامل ژنتیکی، شرایط قبل و پس‌ازبرداشت بر ترکیبات شیمیایی و عمر انباری کیوی‌فروت تـأثیر می‌گذارند (Ferguson & Ferguson, 2003). سولفیدهیدروژن (H_2S) در حال حاضر به عنوان سومین سیگنال دهنده گازی بعد از نیتریک اسید و مونواکسیدکربن محسوب می‌شود (Christou *et al*., 2013). سولفید هیدروژن به عنوان یک مولکول سیگنال برای کاهش آسیب ناشی از سرمازدگی، تأخیر در پیری و حفظ کیفیت محصولات باغبانی در انبار سرد استفاده می‌شود. سولفیدهیدروژن از طریق واکنش‌های آنزیمی در بسیاری از گونه‌های گیاهی تولید می‌شود و نقش‌های متنوعی را در فرآیندهای فیزیولوژیک متفاوت ایفا می‌کند (Ali *et al*., 2019). علاوه‌براین، این ماده به عنوان یک مولکول سیگنالی آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با تنش‌های غیرزیستی از طریق کاهش بیوسنتز ROS و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی عمل می‌کند (Zhang *et al*., 2010; Christou *et al*., 2013).

پیشینهٔ پژوهش

مطالعات نشان می‌دهد که تیمار سولفیدهیدروژن با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش قهوه‌ای شدن در برش‌های تازه هلو (Zhu *et al*., 2009) و قطعات ریشه نیلوفر آبی (Zhang *et al*., 2013) شده است. علاوه براین، سنتز درونی سولفید هیدروژن، انرژی (ATP) در دسترس را افزایش و منجر به کاهش میزان تنفس می‌شود. در نتیجه، زرد شدن بافت اسفناج در طی پس‌ازبرداشت کاهش می‌یابد (Hu *et al*., 2015). تیمار سولفیدهیدروژن در موز باعث حفظ سفتی پوست و کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید می‌شود (Li *et al*., 2015). کاربرد خارجی سولفید هیدروژن نقش مهمی در بهبود ماندگاری پس‌ازبرداشت و تازگی میوه‌هایی مانند توت فرنگی (Zhi *et al*., 2018) و زالزالک (Aghdam *et al*., 2018) داشت. همچنین گزارش شده است که برای کاهش آسیب اکسیداتیو و قهوه‌ای شدن آنزیمی در میوه گلابی برش یافته (Hu *et al*., 2014b) استفاده از سولفید هیدروژن موثر بوده است. علاوه‌براین سولفید هیدروژن با تنظیم جنبه‌های مرتبط با رسیدن میوه از جمله تغییر رنگ، آسیب سرمازدگی، تنفس، نرم شدن و پوسیدگی پس‌ازبرداشت، نقش مهمی در فیزیولوژی پس‌ازبرداشت میوه‌ها و سبزی‌ها دارد (Sun *et al*., 2015) تیمار سولفید هیدروژن سدیم بطور معنی‌داری آسیب سرمازدگی در میوه‌های زالزالک نگهداری شده به مدت ۲۰ روز در دمای یک درجه سلسیوس را کاهش داد (Aghdam *et al*., 2018). میوه‌های توت فرنگی تیمار شده با سولفید هیدروژن دارای سفتی بافت میوه بیشتر، شاخص پوسیدگی و شدت تنفسی پائین‌تری نسبت به میوه‌های شاهد بودند

(Hu *et al*., 2012). با توجه به پژوهش‌های پیشین در رابطه با اثر سولفید هیدروژن در افزایش عملکرد و کیفیت میوه در محصولات باغبانی و اینکه مطالعه تأثیر سولفید هیدروژن در کیوی‌فروت، زمینه جدیدی است که پژوهشی در رابطه با آن صورت نگرفته است، لذا هدف از این پژوهش بررسی تاثیر محلول‌پاشی تاج درخت با سولفید هیدروژن سدیم برای افزایش کیفیت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه کیوی می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در یک باغ تجاری واقع در شهرستان آستارا با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه، ۲۲ دقیقه و ۴۷/۶ ثانیه شمالی و ۴۸ درجه، ۵۱ دقیقه و ۱۳/۳ ثانیه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۲- متر در سال ۱۳۹۹ انجام شد. تاک‌های کیوی رقم هایوارد با فاصله ۳/۵ × ۴/۵ متر کشت شده بودند. در پنج سال اخیر بیشترین دمای ثبت شده در این شهرستان ۳۶/۶ درجه سلسیوس (مرداد ماه) و کمترین دما ۷/۶- درجه سلسیوس (بهمن ماه) گزارش شده است. متوسط بارندگی سالانه ۱۳۸۱ میلی‌متر است. تاک‌های کیوی‌فروت ۱۰ ساله هم اندازه و یکنواخت از لحاظ رشد و میزان محصول جهت محلول‌پاشی انتخاب شدند. تیمار سولفید هیدروژن سدیم به‌صورت محلول‌پاشی روی شاخه، برگ و میوه انجام شد. محلول‌پاشی در سه زمان ۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۴۰ روز بعد از مرحله تمام گل صورت گرفت. میوه‌ها در آبان ماه با میزان مواد جامد محلول ۶/۲-۶/۵ درصد برداشت شده و به آزمایشگاه فیزیولوژی پس‌ازبرداشت گروه باغبانی دانشگاه زنجان منتقل شدند. میوه‌های تیمار شده به سردخانه با دمای ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد منتقل شدند و در فواصل زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین به منظور ایجاد شرایطی مشابه با عمرقفسه‌ای معمول، قبل از اندازه‌گیری صفات، میوه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

میزان وزن میوه‌ها قبل از شروع انبارداری و پس از خروج از انبار با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل (MAHAK) ساخت کشور ایران اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن میوه‌ها محاسبه گردید. سفتی بافت میوه با استفاده از نفوذ سنج دستی مدل (OSK 1618) ساخت کشور ژاپن با قطر پروب ۸ میلی‌متری بر روی ۳ عدد میوه در هر تکرار از سه جهت و بعد از برداشتن پوست میوه انجام شد و برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع بیان شد (Meng *et al*., 2007).

اندازه‌گیری مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتال مدل Atago-ATC-20(E) انجام و به‌صورت درجه بریکس بیان گردید. اندازه‌گیری اسید قابل تیتراسیون (بر اساس غالبیت اسید سیتریک) با استفاده از تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال انجام گرفت (Niazi *et al*., 2021).

برای ارزیابی میزان اسیدآسکوربیک از ماده رنگی ۲و۶ -دی‌کلروفنول‌ایندوفنول استفاده شد (Bor *et al*., 2006). در این روش ۲ گرم میوه با ۶ میلی‌لیتر متافسفریک اسید ۱ درصد (v/v) همگن شده و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس در ۱۰۰۰۰×g سانتریفیوژ گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر از فاز رویی به ۳۰۰ میکرولیتر محلول نشانگر (۵۰ میلی‌گرم ۲و۶- دی‌کلروفنول‌ایندوفنول به اضافه ۴۲ میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم حل شده در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) اضافه شده و میزان جذب در ۵۲۰ نانومتر ثبت گردید. در نهایت غلظت اسیدآسکوربیک با استفاده از منحنی استاندارد به‌دست آمده از غلظت‌های مختلف اسیدآسکوربیک در حضور دی‌کلروفنول‌ایندوفنول محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید از روش تیوباربیتوتیک و رابطه[1] ۱ استفاده شد (Heath & Packer[2], 1968)

رابطه ۱)

$$MDA = [A532 - A600/155] \times 1000$$

1. Malondialdehyde
2. Thiobarbituric

نشـت الکترولیت به صورت درصد با اقتباس از روش ارایه شده توسط (Lim *et al*.,1998) بیان شد و در نهایت درصد نشت الکترولیت با استفاده از رابطه ۲ بدست آمد.

رابطه ۲)

$$\text{درصد نشت الکترولیت} = [(\frac{\text{نشت الکترولیت نهایی}-\text{نشت الکترولیت اولیه}}{\text{نشت الکترولیت اولیه}} \times 100)]$$

جهت اندازه‌گیری فنل کل روش ارائه شده توسط Singleton & Rossi (1965) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از معرف فولین سیکالتو (Folin-ciocalteu) جهت آنالیز و از محلول متانول ۸۰ درصد برای استخراج فنل کل استفاده شد. در نهایت میزان جذب در ۷۲۰ نانومتر ثبت شد و بر اساس mg GAE 100 g^{-1} FW بیان شد. برای تعیین میزان فلاونوئید کل از روش اسپکتروفتومتریک بیان شده توسط Kaijv *et al* (2006) استفاده شد. درنهایت میزان جذب در ۵۱۰ نانومتر ثبت شده و میزان فلاونوئید کل بر اساس mg Q 100 g^{-1} FW بیان شد.

برای سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش DPPH ارائه شده توسط Dehghan & Khoshkam (2012) استفاده شد. در این روش که بر پایه حذف رادیکالهای آزاد ۲و-۲دی فنیل -۱پیکریل هیرازیل (DPPH) استوار است، ۱/۹ میلی‌لیتر از محلول DPPH (۰/۱ میلی‌مول در متانول) به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه در فضای تاریک قرار گرفته و در نهایت تغییر جذب آن توسط اسپکتروفتومتر در ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به صورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه گردید.

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) روش ارائه شده توسط Zucker (1968) مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا ۲ گرم از بافت میوه با ۱۰ میلی‌لیتر بافر بورات سدیم با pH = ۸/۸ کوبیده شد. سپس محلول تهیه شده به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره سانتریفیوژ شده، ۲ سی سی بافر بورات سدیم با ۵۰۰ میکرولیتر محلول فنیل آلانین ۲۰ میلی‌مولار داخل لوله آزمایش ریخته و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۳۷ درجه سلسیوس قرار داده شد. فعالیت آنزیم با اندازه‌گیری میزان جذب محلول در طول موج ۲۹۰ نانومتر تعیین و بر حسب یونیت بر گرم وزن تر میوه U g^{-1} FW گزارش شد.

جهت ارزیابی فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) از بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/۸، حاوی دو درصد PVP استفاده شد و سپس در ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ گردید. مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر کاتکول ۱۰۰ میلی‌مولار، ۲۸۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۶ و ۱۰۰ میکرولیتر فاز رویی استفاده شد و درنهایت فعالیت این آنزیم در طول موج ۴۱۰ نانومتر در یک دقیقه اندازه‌گیری شد و بر اساس یونیت بر گرم وزن تر میوه U g^{-1} FW بیان گردید (Nguyen *et al*., 2003).

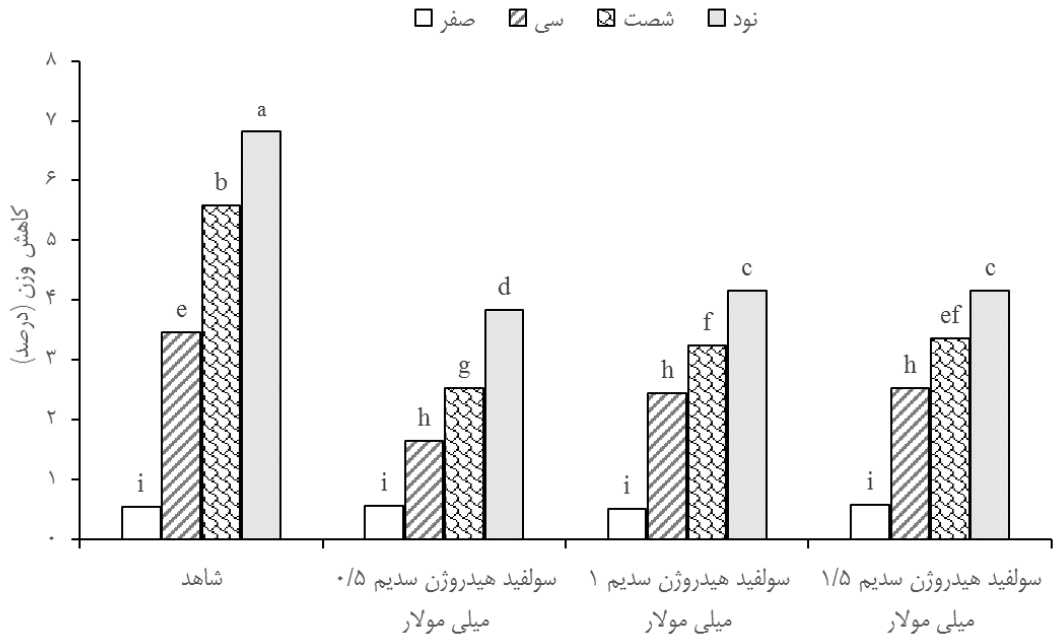
طرح آزمایشی و تجزیه داده‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل (فاکتور اول: غلظت سولفید هیدروژن سدیم در چهار سطح؛ فاکتور دوم: زمان انبارمانی در چهار سطح) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (هر تکرار حاوی ۱ درخت) طراحی و اجرا شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و ترسیم نمودارها و جداول به کمک نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ انجام شد.

یافته‌های پژوهش

درصد کاهش وزن

درصد کاهش وزن در تمام میوه‌ها (تیمارشده و شاهد) در طول ۹۰روز نگهداری در سردخانه روند افزایشی داشته، اما این روند رو به رشد به طور معنی‌داری در میوه‌های شاهد نسبت به میوه‌های تیمار شده بالاتر بوده‌است. در پایان دوره انبارمانی و پس از طی سه روز عمر قفسه‌ای کمترین (۱/۶۵ درصد) و بیشترین (۶/۸۲ درصد) کاهش وزن به ترتیب در میوه‌های تیمار با سولفید هیدروژن سدیم ۰/۵ میلی‌مولار و بیشترین کاهش وزن در تیمار شاهد در ماه سوم انبارمانی مشاهده شد (شکل ۱).

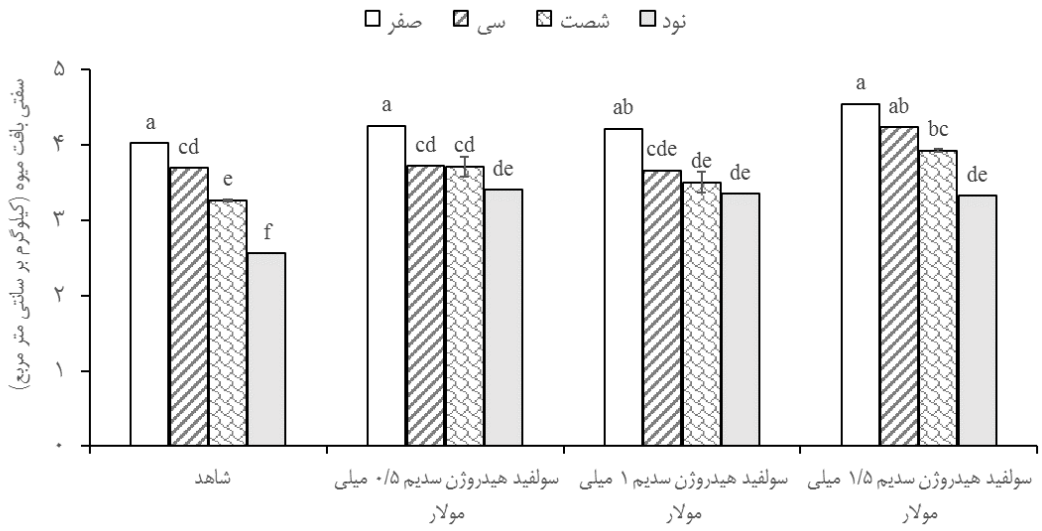


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت سولفید هیدروژن سدیم و طول مدت انبارمانی در دمای ۱ درجه سلسیوس بر درصد کاهش وزن میوه کیوی‌فروت رقم هایوارد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

سفتی بافت میوه

با توجه به شکل ۲ سفتی بافت میوه در طول ۹۰ روز نگهداری در سردخانه کاهش یافت. بررسی نتایج سفتی بافت در طول آزمایش نشان داد که بین زمان‌های مختلف اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین میزان سفتی (۴/۵۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در تیمار سولفید هیدروژن سدیم ۱/۵ میلی‌مولار در زمان برداشت و کمترین میزان سفتی بافت (۲/۵۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در تیمار شاهد در ماه سوم انبارمانی مشاهده شد.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت سولفید هیدروژن سدیم و طول مدت انبارمانی (روز) در دمای ۱ درجه سلسیوس بر سفتی بافت میوه کیوی‌فروت رقم هایوارد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

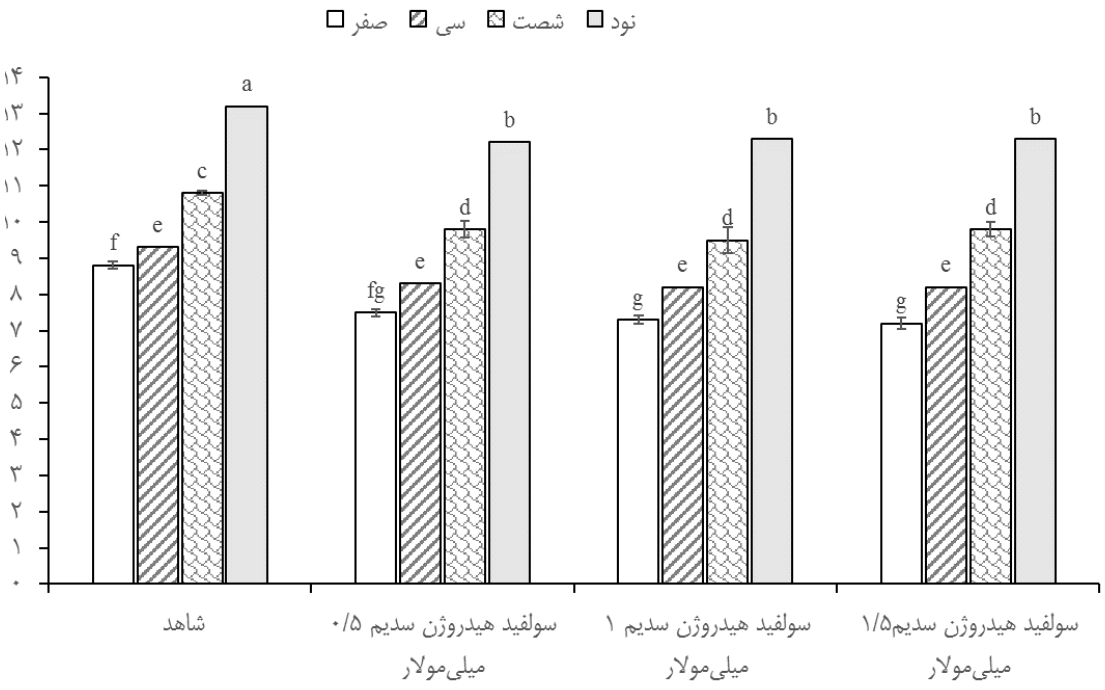
مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون

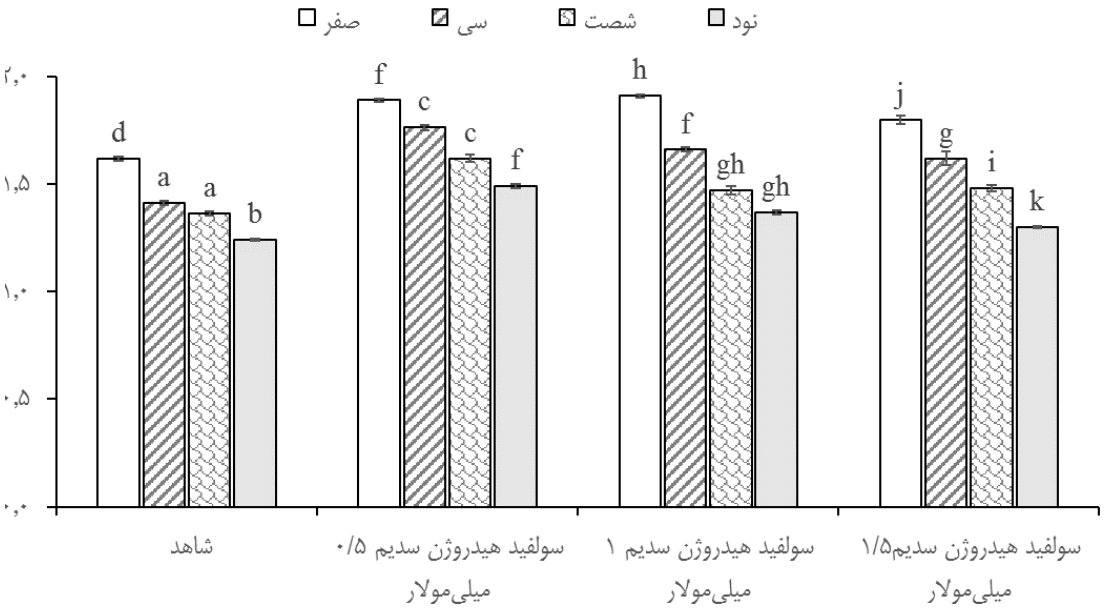
شکل ۳ (A) میزان مواد جامد محلول کل را در طول دوره نگهداری در سردخانه نشان می‌دهد. میزان مواد جامد محلول کل در طول دوره انبارمانی هم در میوه‌های شاهد و هم تیمار شده روند صعودی داشت، اما این روند در میوه‌های شاهد بیشتر از میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن سدیم بود. در پایان ۹۰ روز نگهداری در سردخانه کمترین میزان مواد جامد محلول کل (۷/۲ درجه بریکس) میوه درتیمار سولفید هیدروژن سدیم با غلظت های ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار در زمان برداشت و بیشترین میزان مواد جامد محلول کل (۱۳/۲۶ درجه بریکس) در تیمار شاهد در پایان انبارمانی مشاهده شد.

در طول سه ماه نگهداری میوه‌ها یک روند کاهشی در مقدار اسید قابل تیتراسیون در تمام میوه‌ها (تیمارشده و شاهد) مشاهده گردید (شکل ۳. B). پس از پایان انبارمانی بیشترین میزان اسید قابل تیتراسیون متعلق به میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن سدیم در غلظت‌های ۰/۵ (۱/۸۹ درصد) و ۱ میلی‌مولار (۱/۹۱ درصد) و کمترین مقدار اسید قابل تیتراسیون در تیمار شاهد (۱/۲۴ درصد) مشاهده شد.

مواد جامد محلول (A)



اسید قابل تیتراسیون (B)



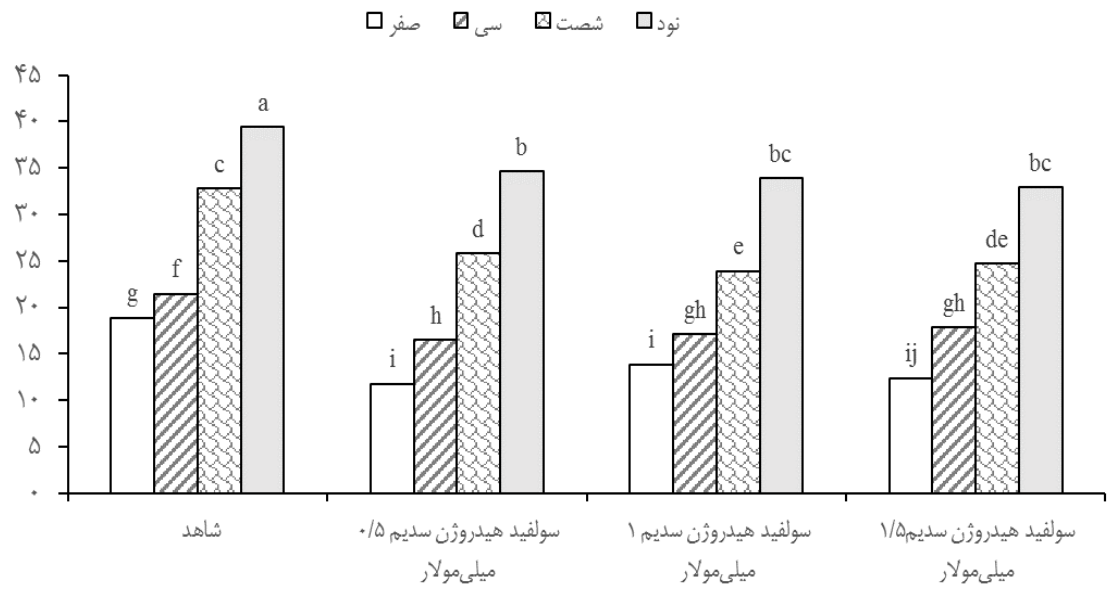
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت سولفید هیدروژن سدیم و طول مدت انبارمانی در دمای ۱ درجه سلسیوس بر تغییرات مواد جامد محلول (A) ، اسید قابل تیتراسیون (B) میوه کیوی‌فروت رقم هایوارد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

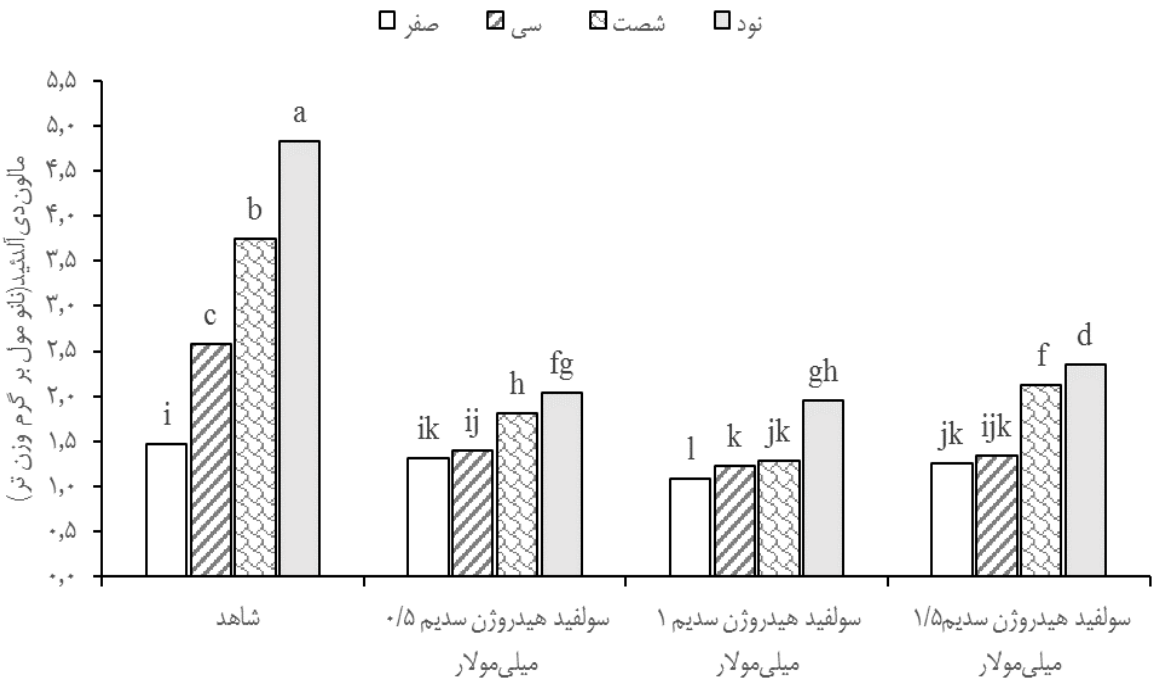
نشت الکترولیت و مالون‌دی‌آلدئید

شکل A.۴ میزان نشت الکترولیت را در طول دوره نگهداری در سردخانه نشان می‌دهد. میزان نشت الکترولیت در طول دوره انبارمانی هم در میوه‌های شاهد و هم تیمار شده روند صعودی داشت، اما این روند در میوه‌های شاهد بیشتر از میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن سدیم بود. در پایان ۹۰ روز نگهداری در سردخانه و سه روز عمرقفسه‌ای در ۲۰ درجه سانتیگراد کمترین درصد نشت الکترولیت ۱۱/۷۸ درصد در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سولفید هیدروژن سدیم در زمان برداشت و بیشترین درصد نشت الکترولیت ۳۹/۴۲ درصد در تیمار شاهد و ۹۰ روز پس از انبارمانی مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان دهنده روند افزایشی مالون‌دی‌آلدئید در تمام میوه‌ها طی دوره انبارمانی می‌باشد این روند صعودی در نمونه‌های شاهد شیب تندتری داشته، اما در میوه‌های تیمار شده از تجمع بالای مالون‌دی‌آلدئید طی سه ماه انبارمانی جلوگیری به عمل آمد (شکل۴. B). در پایان ۹۰ روز انبارمانی به اضافه سه روز عمر قفسه‌ای در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بالاترین تجمع مالون‌دی‌آلدئید (۴/۸۲ نانومول بر گرم وزن تر) مربوط به میوه‌های شاهد و کمترین میزان آن (۱/۰۸ نانومول بر گرم وزن تر) متعلق به میوه‌های تیمار شده با غلظت ۱ میلی‌مولارسولفید هیدروژن سدیم بود.

نشت الکترولیت (A)



مالون‌دی آلدئید (B)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت سولفید هیدروژن سدیم و طول مدت انبارمانی در دمای ۱ درجه سلسیوس بر درصد نشت الکترولیت (**A**) ، مالون‌دی‌آلدئید(**B**) میوه کیوی‌فروت رقم هایوارد. (منبع: یافته‌های تحقیق)
مقادیر ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

اسید آسکوربیک

اسید آسکوربیک در طول دوره انبارمانی در میوه‌ها کاهش یافت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد کمترین مقدار اسید آسکوربیک (۴۱/۰۹ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر) در تیمار شاهد در ۹۰ روز پس از انبارمانی و بیشترین مقدار آن (۹۷/۰۴ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر) در تیمار سولفید هیدروژن سدیم ۱/۵ میلی‌مولار در زمان برداشت مشاهده شد و در این غلظت میزان اسید آسکوربیک میوه در طی یک ماه دوره انبارمانی در بالاترین حد بود.

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز

جدول ۱ نشان می‌دهد با افزایش دوره انبارمانی میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز روند افزایشی دارد. کمترین میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در تیمار شاهد (۶/۸۳ یونیت بر گرم وزن تر) در زمان برداشت و بیشترین میزان فعالیت آن در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سولفید هیدروژن سدیم (۵۹/۵۳ یونیت بر گرم وزن تر) پس از ۹۰ روز انبارمانی مشاهده شد. تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سولفید هیدروژن سدیم دارای میزان فعالیت بالاتری نسبت به سایر غلظت‌ها بود (جدول ۱).

فنل و فلاونوئید کل

مطابق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش مدت انبارمانی میزان فنل و فلاونوئید کل افزایش یافت. کمترین میزان فنل کل (۲۳ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار شاهد در زمان برداشت و بیشترین میزان آن (۵۷/۹ میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) در دو سطح ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار تیمار سولفید هیدروژن سدیم در ۹۰ روز پس از انبارمانی مشاهده شد (جدول۱). کمترین میزان فلاونوئید (۳/۰۹ میلی‌گرم کوئرستین بر ۱۰۰ گرم وزن تر میوه) در تیمار شاهد در زمان

برداشت و بیشترین میزان آن در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سولفید هیدروژن (۷/۶۸ میلی‌گرم کوئرستین بر ۱۰۰ گرم وزن تر میوه) در ۹۰ روز پس انبارمانی مشاهده شد (جدول ۱).

آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO)

نتایج به دست آمده نشان‌دهنده روند افزایشی فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در تمام میوه‌ها اعم از تیمار شده و شاهد طی دوره انبارمانی بود. اما در میوه‌های تیمار شده، افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز کنترل شده و از شدت افزایش آن جلوگیری به‌عمل آمده و در تیمار شاهد شیب تندتری داشت. بنابراین، در پایان دوره انبارمانی بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز به ترتیب در میوه‌های شاهد ۹۰ روز پس از انبارمانی (۳۴/۷۲ یونیت بر گرم وزن تر) و در میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن سدیم ۱/۵ میلی‌مولار در زمان برداشت (۱۱/۹۱ یونیت بر گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۱).

ظرفیت آنتی اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طول دوره انبارمانی در کیوی‌فروت افزایش یافت و این افزایش در میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن سدیم بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۱). در بین تیمارهای سولفید هیدروژن، تیمار ۱ میلی‌مولار بهترین غلظت در افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه با میزان ۹۴/۴۶ درصد بازدارندگی و کمترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه با میزان ۵۲/۶۳ درصد بازدارندگی در میوه‌های شاهد بدست آمد و تیمارهای دیگر نیز اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان دادند (جدول ۱).

جدول ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف سولفید هیدروژن سدیم (میلی‌مولار) و طول دوره های انبارمانی در دمای ۱ درجه سلسیوس بر صفات فیتوشیمیایی میوه کیوی‌فروت رقم هایوارد.

سولفید هیدروژن سدیم (میلی‌مولار)	زمان انبارمانی (روز)	آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (یونیت بر گرم وزن تر)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)	ویتامین ث (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر)	فلاونوئید (میلی‌گرم کوئرستین بر ۱۰۰ گرم وزن تر)	فنل کل (میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر)	آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (یونیت بر گرم وزن تر)
شاهد	۰	f۱۴/۳۰	efg۵۹/۶۶	j۵۲/۶۳	l۳/۰۹	j۲۳	i۶/۸۳
	۳۰	de۱۸/۳۴	g۵۴/۱۸	i۶۰/۵۳	jk۳/۵۲	h۲۸/۷۷	i۶/۹۶
	۶۰	c۲۳/۵۷	h۴۶/۸۰	h۷۵/۳۶	i۴/۱۰	g۳۲/۱۵	h۲۰/۳۶
	۹۰	a۳۴/۷۲	i۴۱/۰۹	g۷۲/۷	h۴/۳۶	d۴۳/۶۲	h۲۳/۴۶
۰/۵	۰	g۱۳/۰۷	b۷۷/۷۵	g۷۱/۶	j۳/۶۵	i۲۴/۶۷	g۳۱/۷
	۳۰	ef ۱۵/۷	c۶۹/۱۸	ef۷۸/۷	f۵/۰۷	g۳۳/۱۹	f۳۷/۶۳
	۶۰	d۲۰/۰۹	de۶۲/۵۱	cd۸۴/۳۷	d۶/۰۹	d۴۳/۸۱	de۴۲/۸۳
	۹۰	b۲۶/۹۲	fg۵۶/۳۲	b۹۰/۸۶	b۶/۸۵	b۵۶/۵۷	c۴۶/۹۶
۱	۰	g۱۳/۰۳	ab۸۰/۶۱	f۷۶/۱۶	k۳/۳۶	h۲۸/۵۸	g۳۱/۷۳
	۳۰	ef۱۵/۶	c۶۸/۹۴	d۸۲/۲۶	g۴/۶۶	f۳۴/۸۶	de۴۳/۲
	۶۰	d۱۹/۹۱	def۶۱/۳۳	c۸۷/۴۲	e۵/۳۹	d۴۴	de۴۲/۵
	۹۰	bc۲۴/۷۳	g۵۴/۴۲	ab۹۴/۴۶	c۶/۴۳	a۵۷/۹۹	c۴۷/۴۳
۱/۵	۰	h۱۱/۹۱	a۹۷/۷۵	g۷۲	gh۴/۴۷	g۳۱/۷۲	ef۴۱/۱۳
	۳۰	efg۱۵/۱۱	cd۶۶/۵۶	de۸۱/۵۹	d۶/۰۸	e۳۷/۸۴	cd۵۴/۷۳
	۶۰	de۱۷/۵	de۶۲/۷۵	c۸۵/۸۸	b۶/۹۳	d۴۵/۸۰	b۵۴/۷۳
	۹۰	bc۲۴/۱۶	fg۵۶/۰۹	a۹۳/۹۵	a۷/۶۸	ab۵۴/۳۴	a۵۰/۵۳

در هر ستون مقادیر دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار می باشند. (منبع: یافته های تحقیق)

بحث

کاهش وزن یکی از مهم ترین شاخص‌های کیفی است و عدم کنترل آن در دوره پس‌ازبرداشت سبب کاهش ارزش اقتصادی و بازار پسندی محصول می‌گردد (Shah & Hashmi, 2020). کاهش وزن با توجه به شرایط نگهداری در طی انبارمانی در میوه‌ها رخ می‌دهد. دلیل اصلی کاهش وزن میوه در طی نگهداری در سردخانه از دست رفتن آب بافت میوه در اثر تعرق و فعالیت‌های فیزیولوژیکی از جمله تنفس می‌باشد. کاهش وزن باعث تغییرات نامطلوب در طعم و بافت میوه و در نهایت منجر به بدشکلی و کاهش کیفیت ظاهری میوه می‌شود (Bico *et al*., 2009).

تیمار سولفید هیدروژن سدیم اثر مثبتی بر جلوگیری از کاهش وزن کیوی داشت. به طور مشابه Keshavarz *et al* (2019) گزارش کردند که استفاده از تیمار سولفید هیدروژن در میوه انار به طور قابل توجهی باعث کاهش افت وزن میوه در طی سه ماه انبارمانی شد. نتایج ما با یافته‌های Al Ubeed *et al* (2017) که نشان دادند تیمار سولفید هیدروژن به طور قابل توجهی کاهش وزن را در کلم سفید چینی کاهش داده مطابقت دارد. همچنین در پژوهشی دیگر کاربرد سولفید هیدروژن از افت وزن میوه سرخ ولیک در طی انبارمانی جلوگیری کرد (Aghdam *et al*., 2018).

سفتی بافت میوه یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی به منظور نظارت بر فرآیند رسیدن میوه است. یکی از صفات اصلی مورد استفاده برای تعیین کیفیت و عمر پس‌ازبرداشت میوه‌ها، مقدار از دست دادن استحکام و سفتی بافت در طول دوره انبارمانی است (Tanada-Palmu & Grosso, 2005). نرمی بافت میوه در نتیجه تغییرات در ساختار دیواره سلولی به خصوص کاهش همبستگی سلول به سلول، تغییرات در بافت و ساختار میوه به علت کاهش آب و حل شدن پکتین‌ها می‌باشد (Perkins-Veazie, 1995). افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در هیدرولیز دیواره سلولی در طی رسیدن و پس‌ازبرداشت موجب نرم شدن میوه می‌شود که با تولید اتیلن مرتبط می‌باشند (Valero & Serrano, 2010). پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی بر اثر تخریب غشا نیز سفتی بافت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رادیکال‌های آزاد پراکسید هیدروژن و سوپر اکسید از محصولات حدواسط و نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی هستند که در فرآیند رسیدگی و نرم شدن بافت میوه نقش مهمی دارند (Mo *et al*., 2008).

تیمار سولفید هیدروژن سدیم به طور معنی‌داری کاهش سفتی و نرم شدن بافت کیوی‌فروت را در مقایسه با شاهد به تأخیر انداخت و باعث حفظ کیفیت کیوی‌فروت در طی انبارمانی شد. تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سولفید هیدروژن سدیم با کاهش تولید اتیلن باعث حفظ سفتی بافت میوه موز شد (Luo *et al*., 2015)، زیرا با کاهش تولید اتیلن، رسیدن و نرم شدن گوشت میوه به تأخیر می‌افتد. در پژوهشی دیگر گزارش شد که تیمار سولفید هیدروژن در میوه توت فرنگی با کاهش فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز و کاهش شدت تنفس باعث حفظ سفتی بافت میوه در طی نگهداری در سردخانه شد (Hu *et al*., 2012). همچنین غوطه‌وری میوه گلابی برش یافته در سولفید هیدروژن دو میلی‌مولار باعث حفظ استحکام و سفتی بافت میوه شد (Hu *et al*., 2014b).

میزان مواد جامد محلول کل در طول دوره انبارمانی هم در میوه‌های شاهد و هم تیمار شده روند صعودی داشت، اما این روند در میوه‌های شاهد بیشتر از میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن سدیم بود. در مدت سه ماه نگه‌داری میوه‌ها یک روند کاهشی در مقدار اسید قابل تیتراسیون در تمام میوه‌ها (تیمارشده و شاهد) مشاهده گردید.

تغییر میزان قندها و افزایش اسیدها در طی مدت نگه‌داری با افزایش سرعت تنفس سلولی و تولید اتیلن و تغلیظ شدن عصاره میوه و همچنین کاهش آب میوه مرتبط می‌باشد. تیمار سولفید با تأثیر مثبت بر سرعت تنفس سلولی و زنجیره انتقال الکترون و جلوگیری از تولید اتیلن، مانع افزایش میزان مواد جامد محلول و کاهش اسید قابل تیتراسیون می‌شود. تیمار سولفید هیدروژن شدت تنفس را با حفظ سطوح بالاتر انرژی به شکل ATP از طریق فسفوریلاسیون اکسیداتیو کاهش داد (Hu *et al*., 2015). علاوه بر فسفوریلاسیون اکسیداتیو، سیتوکروم اکسیداز C نقش مهمی در فعال کردن فرآیند تنفس سلولی و انتقال

الکترون به مولکول اکسیژن دارد که گیرنده نهایی الکترون‌ها در زنجیره‌های تنفسی میتوکندری است (Brunori *et al*., 1987).

بنابراین سولفید هیدروژن با افزایش تولید انرژی و کاهش مصرف انرژی در محصولات کشاورزی باعث کاهش شدت تنفس می‌شود. تیمار میوه‌های توت و توت‌فرنگی با ۰/۸ میلی‌مولار بر لیتر سولفید هیدروژن سدیم میزان تنفس را به میزان قابل توجهی کاهش دادند (Hu *et al*., 2014a).

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، تأثیر مثبت سولفید هیدروژن در کاهش درصد نشت الکترولیت و تجمع مالون‌دی‌آلدئید کاملا مشهود است. یکپارچگی غشای سلولی اولین ساختار سلولی است که تحت تأثیر سرمازدگی قرار می‌گیرد. تغییر فاز غشای سلولی از مایع کریستالی انعطاف پذیر به ساختار جامد ژله‌ای پدیده‌ای است که در اثر سرمازدگی و کاهش نفوذپذیری انتخابی غشا ایجاد می‌گردد (Aghdam & Bodbodak, 2013). تحت تنش سرمایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای سلولی، موجب افزایش درجه اشباع اسیدهای چرب، تجزیه فسفولیپیدها و گالاکتولیپیدها و نسبت استرول به فسفولیپید شده، که همگی منجر به کاهش سیالیت و کارایی غشای سلولی می‌گردد. اگر بافت، اندام یا کل گیاه به مدت طولانی تحت تنش سرمایی قرار بگیرد، گسستگی غشای سلولی رخ می‌دهد که سبب نشت آب، یون‌ها و متابولیت‌های درون سلولی می‌شود، که می‌تواند با ارزیابی نشت الکترولیت مشاهده گردد(Sharom *et al*., 1994). نشت الکترولیت یک پارامتر مؤثر برای سنجش تمامیت غشای سلولی است، بنابراین به عنوان شاخص یکپارچگی غشا در نظر گرفته می‌شود. همچنین پراکسیداسیون لیپیدها که در کاهش یکپارچگی غشای سلولی نقش دارد را نیز می‌توان با ارزیابی تولید مالون‌دی‌آلدئید مورد بررسی قرار داد. میزان تجمع مالون‌دی‌آلدئید به عنوان محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدها، شاخصی برای ارزیابی میزان پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب غشای سلولی است (Luo *et al*., 2015).

رادیکال‌های آزاد پیوند دوگانه اسید چرب را هدف قرار داده و سبب تولید مالون‌دی‌آلدئید می‌شود یا با گروه متیل اسید چرب جایگزین و پراکسیداسیون غشاء را افزایش می‌دهد (Radotic *et al*., 2000). در واقع نشت یونی و محتوی مالون‌دی‌آلدئید در طی پراکسیداسیون لیپیدها شاخصی برای اندازه‌گیری میزان آسیب اکسیداتیو وارد شده به غشا سلولی می‌باشد. سرمازدگی در میوه‌ها باعث تغییر ساختار غشا به وسیله پراکسیداسیون غشا می‌شود (Shewfelt & Purvis, 1995). سولفید هیدروژن با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی منجر به کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و مقاومت به سرمازدگی می‌گردد. همچنین منجر به افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و تولید ترکیبات پلی‌فنلی و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز شده و سلامتی غشا را حفظ می کند (Luo *et al*., 2015). سولفید هیدروژن آسیب اکسیداتیو را در برش‌های تازه ریشه لوتوس مهار و با کاهش تولید O^{-2} و H_2O_2 میزان نشت یونی را نیز کاهش داد (Sun *et al*., 2015). تیمار سولفید هیدروژن با تأثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش محتوی مالون‌دی‌آلدئید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدی و نشت یونی به عنوان یکی از شاخص‌های آسیب به غشا شد (Janero, 1990). به طور مشابه در پژوهشی دیگر گزارش شد که تیمار سولفید هیدروژن باعث حفظ یکپارچگی غشاء سلولی پوست میوه موز درطول دوره انبارمانی شد و از افزایش مالون‌دی‌آلدئید و نشت یونی جلوگیری کرد (Li *et al*., 2016). اسید آسکوربیک در طول دوره انبارمانی در میوه‌ها کاهش یافت (جدول ۱) که با نتایج محققین دیگر که اعلام کردند میزان اسید آسکوربیک در میوه‌ها طی مدت انبارمانی کاهش می‌یابد، مطابقت دارد (Lee & Kader, 2000). کیوی‌فروت دارای مقادیر بالایی از ترکیبات فعال زیستی مانند ویتامین‌ها و ترکیبات فنلی می‌باشد که به ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن کمک می‌کنند و توانایی حذف رادیکال‌های آزاد، رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید را به وسیله انتقال تک الکترون دارند (Du *et al*., 2009). افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد در طی فرآیند رسیدن میوه‌ها در اثر افزایش متابولیسم اکسیداتیو به خصوص در میوه‌های فرازگرا می تواند موجب ایجاد خسارت به غشاهای سلولی و افزایش سرعت پیری محصول گردد. آنتی‌اکسیدان‌های موجود در میوه، بافت میوه را در مقابل تنش‌ها و بیماری‌ها محافظت می‌کنند (Du *et al*., 2009). در پژوهش حاضر، تیمار سولفید هیدروژن از کاهش بیشتر اسید آسکوربیک در طی انبارمانی جلوگیری کرده است.

همچنین Li *et al* (2014) نشان داد میزان اسید آسکوربیک در کلم بروکلی تیمار شده با تیمار سولفید هیدروژن به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود.

میزان فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز با مقدار فنل کل به‌دست آمده نوعی هماهنگی نشان داد. بنابراین با افزایش فعالیت این آنزیم سنتز و تجمع ترکیبات فنلی افزایش یافته و در نهایت ترکیبات فنلی با خواص آنتی اکسیدانی بالا، باعث افزایش مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود (Eraslan *et al*., 2007). آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز به‌عنوان آنزیم کلیدی در متابولیسم فنیل پروپانوئیدی تبدیل فنیل آلانین به ترانس سینامیک اسید را کاتالیز می‌نماید که اولین مرحله در بیوسنتز فنیل پروپانوئیدها بوده و منجر به تولید متابولیت‌های ثانویه مانند لیگنین، فیتوالکسین‌ها وفلاونوئیدها می گردد (Bagal *et al*., 2012). در پژوهش حاضر کاربرد تیمار سولفید هیدروژن باعث افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز نسبت به شاهد در طی دوره انبارمانی شد. به طور مشابه گزارش شده کاربرد تیمار سولفید هیدروژن باعث افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز و در نتیجه تجمع ترکیبات فنلی در ریشه نیلوفر آبی و میوه موز و سرخ ولیک شد (Sun *et al*., 2015; Luo *et al*., 2015; Aghdam *et al*., 2018).

به طور کلی افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در میوه‌های نگهداری شده در سردخانه به عنوان یک سازوکار برای کاهش اثرات سرمازدگی پذیرفته شده است (Lafuente *et al*., 2003). این نتایج با یافته Li *et al* (2015) که گزارش کردند میزان ترکیبات فنلی در میوه موز تیمار شده با سولفید هیدروژن افزایش یافت، مطابقت دارد. سولفید هیدروژن با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز باعث حفظ ترکیبات فنلی در میوه آلو شد (Balakrishnan *et al*., 2005).

در این پژوهش میزان فنل کل در طی انبارمانی در میوه‌های شاهد روند افزایشی داشت و در پایان انبارمانی میزان فنل کل میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن بیشتر از شاهد بود. این تحقیق نشان داد که میزان ترکیبات فنلی در کیوی‌فروت تیمار شده با سولفید هیدروژن نسبت به شاهد در طی انبارمانی بیشتر بود. این نتایج با یافته (Li *et al*., 2015) که گزارش کردند میزان ترکیبات فنلی در میوه موز تیمار شده با سولفید هیدروژن افزایش یافت مطابقت دارد. همچنین تیمار ۳ میلی‌مولار سولفید هیدروژن سدیم به طور معنی‌داری باعث افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئید کل در میوه خرمالو شد (Niazi *et al*., 2021).

قهوه‌ای شدن آنزیمی میوه‌ها در اثر اکسیداسیون ترکیبات فنلی مربوط به کینون‌ها می‌باشد. این واکنش توسط آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در حضور اکسیژن صورت می‌گیرد و باعث به وجود آمدن رنگیزه‌های قهوه‌ای می‌شود. این تغییر رنگ قهوه‌ای شدن منجر به تغییرات ارگانولپتیک و تغذیه‌ای در بافت گیاهی شده و از این رو باعث تغییرات کیفی و ظاهری نامطلوب در محصولات می‌شود (Carbonaro & Mattera, 2001). آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز تقریبا در تمامی بافت‌های گیاهی دیده می‌شود. سوبسترای این آنزیم ترکیبات فنلی حاوی یک حلقه آروماتیک با داشتن یک یا چند گروه هیدروکسیل مانند فلاونوئیدها، آنتوسیانیدینها، تیروزین و سینامیک اسید می‌باشد (Unal *et al*., 2011). فعالیت این آنزیم توسط میزان تنفس، غلظت عناصر غذایی، استحکام بافت میوه و آنتی‌اکسیدان‌ها تنظیم می‌شود و عواملی نظیر زمان برداشت و دما، ترکیب گازی اتمسفر و شرایط محیطی نیز بر فعالیت آن مؤثر می‌باشد (Khoshghalb *et al*., 2007).

تعدادی ترکیبات مهار کننده فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز از جمله اسید آسکوربیک، سیتریک اسید و ترکیبات دیگر حاوی گروه تیول مانند سیستئین، گلوتاتیون و پپتیدها گزارش شده است (Holzwarth *et al*., 2013). در آزمایش حاضر تیمار سولفید هیدروژن به طور قابل توجهی فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را در طی انبارمانی نسبت به شاهد کاهش داد. در واقع نقش سولفید هیدروژن در کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی در طی انبارمانی از طریق مهار فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز می‌باشد. همچنین گزارش شده استفاده از تیمار سولفید هیدروژن در برش‌های تازه ریشه لوتوس فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز را به طور قابل توجهی کاهش داده و در نتیجه باعث حفظ ترکیبات فنلی شده و از قهوه‌ای شدن آن جلوگیری کرده است (Sun *et al*., 2015).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها و سبزی‌ها به خاطر وجود ترکیبات آنزیمی مثل آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و همچنین ترکیبات غیرآنزیمی شامل ویتامین ث، ترکیبات فنلی و کارتنوئیدها می‌باشد و سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث جلوگیری از اثرات پر خطر رادیکال‌های آزاد می‌شود (Zhao-liang *et al*.,1998). گیاهان برای رویایی با گونه‌های فعال اکسیژن بسته به ظرفیت ژنتیکی‌شان سامانه دفاع آنتی‌اکسیداتی را در خود گسترش می‌دهند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌ها به ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بستگی دارد (Mittler *et al*., 2002). در پژوهش حاضر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در میوه‌های کیوی‌فروت تیمار شده با سولفید هیدروژن در طی انبارمانی به طور قابل توجهی بیشتر از شاهد بود. افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اثر تیمار سولفید هیدروژن در ریشه نیلوفر آبی نیز گزارش شده است (Sun *et al*., 2015). همچنین Aghdam *et al* (2018) گزارش کردند که تیمار سولفید هیدروژن با کاهش تنفس و تأخیر پیری باعث حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه سرخ ولیک در طول دوره انبارمانی شد. تیمار تلفیقی اتیلن و سولفید هیدروژن در میوه موز تجمع رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید را کاهش و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را افزایش داد (Ge *et al*., 2017).

نتیجه گیری

به‌طور خلاصه می‌توان بیان کرد محلول‌پاشی سولفید هیدروژن موجب حفظ اسید آسکوربیک و سفتی بافت میوه، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، فلاونوئید کل و افزایش فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیاز و باعث کند کردن کاهش وزن میوه، کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز و محتوای مالون دی‌آلدئید در مقایسه با تیمار شاهد شدند. لذا با توجه به افزایش عمر انبارمانی، حفظ کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی میوه کیوی‌فروت و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید استفاده از سولفید هیدروژن توصیه می‌شود. از بین غلظت‌های مورد استفاده در این آزمایش غلظت ۱/۵ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را در حفظ خواص کیفی و آنتی‌اکسیدانی داشت که به‌عنوان تیمار مناسب پیشنهاد می‌گردد.

منابع

عابدینی، جواد. (۱۳۸۸). کیوی، فیزیولوژی و تکنولوژی صنایع تبدیلی کیوی و اصول نگهداری آن درسردخانه. انتشارات دانش‌نگار.

کشاورز، فاطمه، سلیمانی، علی، رضوی، فرهنگ. و خیری، عزیزالله (۱۳۹۸). تاثیر تیمار فنیل آلانین و هیدروژن سولفید پس‌ازبرداشت بر خواص بیوشیمیایی و آنتی اکسیدانی میوه انار در نگهداری سرد .پایان نامه کارشناسی ارشد .دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان.

REFERENCES

Abedini, J. (2009). *Kiwi, physiology and technology of kiwi conversion industries and its storage principles in cold storage*. Daneshnegar Publications. (In Persian)

Aghdam, M. S. and Bodbodak, S. (2013). Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments. *Scientia Horticulturae*, 156, 73-85.

Aghdam, M. S., Mahmoudi, R., Razavi, F., Rabiei, V. & Soleimani, A. (2018). Hydrogen sulfide treatment confers chilling tolerance in hawthorn fruit during cold storage by triggering endogenous H_2S accumulation, enhancing antioxidant enzymes activity and promoting phenols accumulation. *Scientia Horticulturae*, 238, 264-271.

Al Ubeed, H. M. S., Wills, R. B. H., Bowyer, M. C., Vuong, Q. V. & Golding, J. B. (2017). Interaction of exogenous hydrogen sulphide and ethylene on senescence of green leafy vegetables. *Postharvest Biology and Technology,* 133, 81–87.

Ali, S., Nawaz, A., Ejaz, S., Haider, S. T. A., Alam, M. W. & Javed, H. U. (2019). Effects of hydrogen sulfide on postharvest physiology of fruits and vegetables: An overview. *Scientia Horticulturae,* 243, 290-299.

Bagal, U. R., Leebens mack, J. H., Walter Lorenz, W. & Dean, J. F. D. (2012). The phenylalanine ammonia lyase (PAL) gene family shows a gymnosperm specific line age. *BMC Genoms,* 13 (3), 51. http://www.biomedcentral.com/1471-2164/13/S3/S1

Balakrishnan, V., Venkatesan, K., Ravindran, K. C. & Kulandaivelu, G. (2005). Protective mechanism in UV-B treated *Crotalaria juncea* L. seedlings. *Plant Protection Science,* 41(3), 115 – 120.

Bico, S. L. S., Raposo, M. F. J., Morais, R. M. S. C. & Morais, A. M. M. B. (2009). Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control,* 20(5), 508–514.

Bor, J. Y., Chen, H. Y. & Yen, G. CH. (2006). Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agriculture and Food Chemistry,* 54, 1680–1686.

Brunori, M., Antonini, G., Malatesta, F., Sarti, P. & Wilson, M. T. (1987). Cytochrome-c oxidase. *European Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry,* 169, 1–8.

Carbonaro, M. & Mattera, M. (2001). Polyphenoloxidase activity and polyphenol levels in organically and conventionally grown peach (*Prunus persica* L., cv. Regina bianca) and pear (*Pyrus communis* L., cv. Williams). *Food Chemistry,* 72(4), 419-424.

Christou, A., Manganaris, G. A., Papadopoulos, I. & Fotopoulos, V. (2013). Hydrogen sulfide induces systemic tolerance to salinity and non-ionic osmotic stress in strawberry plants through modification of reactive species biosynthesis and transcriptional regulation of multiple defense pathways. *Journal of Experimental Botany,* 64(7), 1953-1966.

Dehghan, G. & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)–quercetin complex: Synthesis, spectral characterisation and antioxidant activity. *Food Chemistry,* 131, 422-426.

Du, G., Li, M., Ma, F. & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry,* 113, 557-562.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. & Alpaslan, M. (2007). Impact of exogenouse salicylice acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae,* 113, 120-128.

FAO. (2020). FAOSTAT, FAO Statiscal Databases. http://faostat.fao.org.

Ferguson, A. R. & Ferguson. L. R. (2003). Are kiwifruit really good for you? *Acta Horticulturae,* 610, 131-138.

Ge, Y., Hu, K. D., Wang, S. S., Hu, L. Y., Chen, X. Y., Li, Y. H. & Zhang, H. (2017). Hydrogen sulfide alleviates postharvest ripening and senescence of banana by antagonizing the effect of ethylene. *Plos One,* 12(6), e0180113.

Heath, R. L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives Biochemistry Biophysics,* 125: 850-857.

Holzwarth, M., Wittig, J., Carle, R. & Kammerer, D. R. (2013). Influence of putative polyphenoloxidase (PPO) inhibitors on strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) PPO, anthocyanin and color stability of stored purées. *LWT-Food Science and Technology,* 52(2), 116-122.

Hu, H. L., Liu, D., Li, P. X. & Shen, W. B. (2015). Hydrogen sulfide delays leaf yellowing of stored water spinach (*Ipomoea aquatica*) during dark-induced senescence by delaying chlorophyll breakdown, maintaining energy status and increasing antioxidative capacity. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 8–20.

Hu, H., Shen, W. & Li, P. (2014a). Effects of hydrogen sulphide on quality and anti-oxidant capacity of mulberry fruit. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 399–409.

Hu, K. D., Wang, Q., Hu, L. Y., Gao, S. P., Wu, J. & Li, Y. H. (2014b). Hydrogen sulfide prolongs postharvest storage of fresh-cut pears (*Pyrus pyrifolia*) by alleviation of oxidative damage and inhibition of fungal growth. *Plos One*, 9, e85524.

Hu, L. Y., Hu, S. L., Wu, J., Li, Y. H., Zheng, J. L., Wei, Z. J., Liu, J., Wang, H. L., Liu, Y. S. & Zhang, H. (2012). Hydrogen sulfide prolongs postharvest shelf life of strawberry and plays an antioxidative role in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (35), 8684–8693.

Janero, D. R. (1990). Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. *Free Radical Biology and Medicine*, 9(6), 515–540.

Kaijv, M., Sheng, L. & Chao, C. (2006). Antioxidation of flavonoids of Rhizome. *Food Science*, 27,110-115.

Keshavarz, F., Soleimani, A., Razavi, F. & kheiry, A. (2019). Effect of post-harvest phenylalanine and hydrogen sulfide treatment on biochemical and antioxidant properties of pomegranate fruit during cold storage (Master Thesis. Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan). (In Persian)

Khoshghalb, H., Arzani, K., Tavakoli, A., Malakouti, M. J. & Barzegar, M. (2008). Quality of some Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) fruit in relation to pre-harvest CaCl2, Zn and B sprays, harvest time, ripening and storage conditions. *Acta Horticulturae*, 800, 1027-1034.

Lafuente, M. T., Zacarias, L., Martinez-Tellez, M. A., Sanchez-Ballesta, M. T. & Granell, A. (2003). Phenylalanine ammonia - lyase and ethylene in relation to chilling injury as affected by fruit age in citrus. *Postharvest Biology and Technology*, 29, 308–317.

Lee, S.K. & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220.

Li, D., Limwachiranon, J., Li, L., Du, R. & Luo, Z. (2016). Involvement of energy metabolism to chilling tolerance induced by hydrogen sulfide in cold-stored banana fruit. *Food chemistry*, 208, 272-278.

Li, D., Luo, Z., Du, R. & Mou, W. (2015). Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of banana fruit by enhanced antioxidant system and proline content. *Scientia Horticulturae*, 183, 144-151.

Li, S. P., Hu, K. D., Hu, L. Y., Li, Y. H., Jiang, A. M., Xiao, F. & Zhang, H. (2014). Hydrogen sulfide alleviates postharvest senescence of broccoli by modulating antioxidant defense and senescence-related gene expression. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(5), 1119-1129.

Lim, C. C., Arora, R. & Townssenal, E. C. (1998). Comparing Gompertz and Richards Function to estimate freezing injury in Rhododendron using electrolyte leakage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123, 246-252.

Luo, Z., Li, D., Du, R. & Mou, W. (2015). Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of banana fruit by enhanced antioxidant system and proline content. *Scientia Horticulturae*, 183, 144-151.

Meng, X., Li, B., Liu, J. & Tian, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan pre-harvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, 106, 501-508.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410.

Mo, Y., Gong, D., Liang, G., Han, R., Xie, J. & Li, W. (2008). Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2693-2699.

Nguyen, T. B. T., Ketsa, S. & Van Doorn, W. G. (2003). Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 30: 187-193.

Niazi, Z., Razavi, F., Khademi, O. & Aghdam, M. S. (2021). Exogenous application of hydrogen sulfide and γ-aminobutyric acid alleviates chilling injury and preserves quality of persimmon fruit (*Diospyros kaki*, cv. Karaj) during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 285, 1-11.

Park, Y, S., Leontowicz, M., Namiesnik, J., Suhaj, M., Cvikrová, M., Martincová, O., Weisz, M. & Gorinstein, M. (2011). Comparison of the contents of bioactive compounds and the level of antioxidant activity in different kiwifruit cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24(7). 963-970

Perkins-Veazie, P. (1995). Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews*, 17(8): 267-297.

Radotic, K., Ducic, T. & Mutavdzic, D. (2000). Changes in peroxidase activity and isoenzymes in spruce needles after exposure to different concentrations of cadmium. *Environmental and Experimental Botany*, 44, 105-113.

Shah, S. & Hashmi, M. S. (2020). Chitosan–*Aloe vera* gel coating delays postharvest decay of mango fruit. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 1-11. http://dx.doi.org/10.1007/s13580-019-00224-7

Sharom, M., Willemot, C. & Thompson, J. E. (1994). Chilling injury induces lipid phase changes in membranes of tomato fruit. *Plant Physiology*, 105(1), 305-308.

Shewfelt, R. L. & Purvis, A. C. (1995). Toward a comprehensive model for lipid peroxidation in plant tissue disorders. *HortScience*, 30(2), 213-218.

Singleton, V L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture, 16, 144-158.*

Sun, Y., Zhang, W., Zeng, T., Nie, Q. & Zh, L. (2015). Hydrogen sulfide inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices by regulating phenolic metabolism. *Food Chemistry*, 177, 376–381.

Tanada-Palmu, P. S. & Grosso, C. R. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry *(Fragaria x ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36(2): 199-208.

Unal, U. M., Yabaci, S. N. & Sener, A. (2011). Extraction, partial purification and characterization of polyphenol oxidase from tea leaf (*Camellia sinensis*). *GIDA*, 36(3), 137-144.

Valero, D. & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC-Taylor and Francis, Boca Raton, FL, USA.

Zhang, H., Hu, L. Y., Li, P., Hu, K. D., Jiang, C. X. & Luo, J. P. (2010). Hydrogen sulfide alleviated chromium toxicity in wheat. *Biologia Plantarum*, 54(4), 743-747.

Zhang, S. Y., Yu, Y. W., Xiao, C. L., Wang, X. D. & Tian, Y. Y. (2013). Effect of carbon monoxide on browning of fresh-cut lotus root slice in relation to phenolic metabolism. *Food Science and Technology*, 53, 555–559.

Zhao-Liang, Li., Yong-Bing, Y., Cheng-Lian, L. & Zong-Xun, C. (1998). Regulation of antioxidant enzymes by salicylic acid in cucumber leaves. *Journal of Integrative Plant Biology*,40(4), 356-361.

Zhi, H., Liu., Q. & Dong, Yu. (2018). Effects of hydrogen sulfide on storage quality, water mobility and cell wall metabolism of strawberry fruit. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering,* 11(6), 201-207.

Zhu, L. Q., Zhou, J., Zhu, S. H. & Guo, L. H. (2009). Inhibition of browning on the surface of peach slices by short-term exposure to nitric oxide and ascorbic acid. *Food Chemistry*, 114, 174–179.

Zucker, M. (1968). Sequential induction of phenylalanine ammonia-lyase and a lyase-inactivating system in potato tuber disks. *Plant Physiology*, 43, 365-374.