Food Hygiene, Vol. 12, No. 46, Summer 2022

"Research article" **DOI:10.30495/JFH.2022.1967486.1374**

Comparing of thermal and cold plasma non-thermal pasteurization on bioactive compounds and microbial load of red orange juice (*Sanguinello L.*)

Olyaee, A.[1], Berenjy, Sh.[2], Nateghi, L.[3*]

1. M.S. student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

[*]Corresponding author: leylanategh@yahoo.com

(Received: 2022/9/10 Accepted: 2022/11/09)

Abstract

Non-thermal methods are introduced to lessen the color degradation and loss of nutritional compounds in fruit juices caused by conventional thermal pasteurization. This research aimed to investigate the effect of cold atmospheric gas phase plasma on physicochemical properties, bioactive compounds, and microbial load of red orange juice. The results show a significant difference ($p \leq 0.05$) between the samples treated with cold plasma and thermally pasteurized ones, in terms of physicochemical characteristics (acidity, pH, Brix, and color), bioactive compounds (anthocyanin, total phenol, and vitamin C) and microbial load (yeast/mold population and aerobic bacteria). The microbial load in the samples treated with cold plasma was within the acceptable range approved by the Iranian National Standard. The highest values of bioactive compounds (anthocyanin 51.248 mg/l, total phenol 1988.2 mg/l, and vitamin C 398 mg/l) were observed in the cold plasma pasteurized sample (at 20 kV, for 10 min and atmospheric gas). These values were significantly ($p \leq 0.05$) higher than those of thermally-pasteurized samples. The results showed that by applying the cold plasma process for the pasteurization of red orange juice, along with obtaining a healthier product, more bioactive compounds are preserved.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Red orange, Cold plasma, Thermal pasteurization, Bioactive compounds

«مقاله پژوهشی» DOI:10.30495/JFH.2022.1967486.1374

مقایسه روش پاستوریزاسیون حرارتی و غیرحرارتی پلاسمای‌سرد بر ترکیبات زیست‌فعال و بارمیکروبی آب‌میوه پرتقال توسرخ (*Sanguinello L.*)

عاطفه علیایی[۱]، شیلا برنجی،[۲] لیلا ناطقی[۳*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
۲. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
۳. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
*نویسنده مسئول مکاتبات: leylanategh@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۶/۱۹ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۸/۱۸)

چکیده

به‌منظور کاهش اثرات منفی پاستوریزاسیون حرارتی متداول بر آب‌میوه‌ها از قبیل تخریب رنگ و افت برخی از ترکیبات تغذیه‌ای، می‌توان از روش‌های غیرحرارتی استفاده نمود. هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی تأثیر پلاسمای سرد اتمسفری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، ترکیبات زیست‌فعال و بار میکروبی بود. نتایج نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بین نمونه‌های تیمار شده با پلاسمای سرد و پاستوریزه شده حرارتی از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (اسیدیته، pH، بریکس و رنگ)، ترکیبات زیست‌فعال (آنتوسیانین، فنل کل و ویتامین C) و بار میکروبی (جمعیت کپک و مخمر، باکتری‌های هوازی) بود. بار میکروبی تمامی نمونه‌های آب پرتقال پاستوریزه شده با پلاسمای سرد در محدوده قابل قبول استاندارد ملی ایران بودند. بالاترین میزان ترکیبات زیست‌فعال (۵۱/۲۴۸ mg/l آنتوسیانین، ۱۹۸۸/۲ mg GAE/L فنل کل و ۳۹۸ mg/l ویتامین C) در نمونه پاستوریزه شده با پلاسمای‌سرد (در شرایط ۲۰ کیلوولت، مدت ۱۰ دقیقه و گاز هوا) مشاهده شد. این نتیجه نسبت به نمونه پاستوریزه شده به‌روش حرارتی به‌طور معنی‌داری ($p \leq ۰/۰۵$) بالاتر بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد با اعمال فرآیند پلاسمای سرد برای پاستوریزاسیون آب پرتقال توسرخ علاوه بر دستیابی به محصول سالم‌تر، ترکیبات زیست‌فعال بیشتری در آن حفظ می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرتقال توسرخ، پلاسمای‌سرد، پاستوریزاسیون حرارتی، ترکیبات زیست‌فعال

مقدمه

پرتقال خونی که با نام پرتقال توسرخ هم شناخته می‌شود، از بقیه انواع پرتقال کوچکتر، رنگ گوشت قرمز و پوست سفت‌تر دارد و روی آن لکه‌های تیره رنگ دیده می‌شود (Lo Piero, 2015). سرشار از آنتوسیانین‌ها، ویتامین C، فولات، ویتامین‌های گروه B، ویتامین A، پتاسیم، منیزیم، مس، آهن، کلسیم و فیبر خوراکی است. پرتقال خونی از منطقه مدیترانه یا چین سرچشمه گرفته است (Habibi *et al.*, 2020) و مشهورترین گونه‌های آن تاراکو (Tarocco)، سانگواینلو (Sanguinello) و مارو (Moro) هستند (Continella *et al.*, 2018).

در تولید صنعتی آب‌میوه‌ها، به‌منظور پاستوریزاسیون و میکروب‌زدایی فرآورده، به‌طور رایج از فرآیندهای حرارتی استفاده می‌شود که می‌تواند سبب تخریب رنگ و افت برخی از ترکیبات تغذیه‌ای آب‌میوه‌ها از جمله آنتوسیانین‌ها شود. آنتوسیانین‌ها در آب‌میوه‌ها و سایر غذاها به فرآیند حرارتی حساس هستند که این تغییرات با افت در ویژگی‌های تغذیه‌ای و حسی (به‌عنوان مثال قهوه‌ای شدن رنگ) همراه است (Kovačević *et al.*, 2015). فاکتورهای صنعتی که بر پایداری آنتوسیانین‌ها مؤثر هستند شامل: دمای فرآیند و نگهداری، طبیعت شیمیایی آنتوسیانین‌ها، pH، محتوای آسکوربیک اسید، هیدروکسید پراکساید، شکر، نور و فلزات (Kovačević *et al.*, 2016). بنابراین توسعه و استقرار تکنیک‌های غیرحرارتی که سبب حفظ آنتوسیانین‌ها و کاهش تغییرات رنگ در آب‌میوه‌ها، ضروری به‌نظر می‌رسد.

پلاسمای فاز گازی سرد (Cold atmospheric gas phase plasma)، یک تکنیک فرآوری غیرحرارتی نوظهور برای فراهم کردن ایمنی میکروبی است که با حداقل تخریب در ترکیبات پلی‌فنلی در آب‌میوه‌ها همراه است (Garofulić *et al.*, 2015). پلاسما یک گاز شبه خنثی است که از ذرات باردار (الکترون‌ها، یون‌ها)، شبه پایدار و رادیکال‌های آزاد و فوتون‌ها تشکیل شده است (Surowsky *et al.*, 2014).

پس از بررسی تأثیر پلاسمای سرد بر تغییرات رنگ، محتوای آنتوسیانین و کیفیت میکروبی آب زرشک، مشخص گردید که تمامی نمونه‌های تیمار شده با پلاسما محتوای آنتوسیانین، شاخص روشنایی و قرمزی بیشتری نسبت به نمونه آب زرشک پاستوریزه شده در دمای ۸۰ درجه سلسیوس داشتند. همچنین بار میکروبی آب زرشک تازه با افزایش زمان تیمار پلاسما کاهش پیدا کرد (Rahnamaye *et al.*, 2018). در بررسی‌های دیگری از قبیل تأثیر پلاسمای سرد بر ویژگی‌های کیفی پالپ انبه (Abedelmaksoud *et al.*, 2022)، تأثیر پلاسمای سرد اتمسفر بر میزان ویتامین C در آب سیب (Leite *et al.*, 2021) و تأثیر پلاسمای اتمسفری و تیمار حرارتی بر ترکیبات زیست‌فعال و بار میکروبی آب توت‌فرنگی (Mehta and Yadav, 2019)»، نتایج بیانگر آن بود که می‌توان از این فناوری به‌عنوان یک فناوری نوین جایگزین غیرحرارتی برای پاستوریزاسیون آب‌میوه‌ها به‌جای عملیات حرارتی استفاده کرد.

در این پژوهش نظر به اهمیت آب‌پرتقال توسرخ و خواص تغذیه‌ای و درمانی آن، تأثیر پلاسمای سرد اتمسفری بر میزان خصوصیات فیزیکوشیمیایی، ترکیبات

زیست‌فعال و بارمیکروبی بررسی و نتایج آن با تیمار پاستوریزاسیون حرارتی (۹۵ درجه سلسیوس به مدت ۵ ثانیه) به‌عنوان شاهد و آب‌میوه‌ای که هیچ فرآیندی رئی آن اعمال نشده بود، مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

- مواد

پرتقال توسرخ (بازار محلی رامسر، ایران)، آسکوربیک اسید، اسید سولفوریک، فنول فتالئین، متانول، هیدروکسید سدیم، محیط کشت‌های پلیت کانت آگار (Plate count agar)، آبگوشت لوریل سولفات تریپتوز (Lauryl sulfate tryptose broth)، برلیانت گرین لاکتوز بایل براث (Brilliant green lactose bile broth) و عصاره مخمر دکستروز-کلرامنفیکل آگار از شرکت مرک-آلمان (Merck, Germany) تهیه گردید.

- تیمارهای پاستوریزاسیون حرارتی و پلاسما نمونه‌های آب پرتقال توسرخ

پس از تهیه پرتقال توسرخ و آبگیری آن‌ها با آب مرکبات‌گیری (Teffal, Farance)، نمونه شاهد در دمای ۹۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۵ ثانیه پاستوریزه شد. جهت پاستوریزاسیون غیرحرارتی، از سامانه مولد پلاسما از نوع تخلیه سد دی‌الکتریک (کاوش یاران فن پویا، ایران) استفاده شد. دستگاه شامل یک الکترود ولتاژ بالا متصل به منبع تغذیه با ولتاژ حداکثر ۶۰ کیلوولت به‌شکل پالسی و فرکانس تقریبی ۶ کیلوهرتز بود. انتهای الکترود به براده‌های مسی داخل محفظه‌ای از جنس کوارتز، متصل بود. الکترود دوم، ظرف حاوی نمونه است که از داخل و بیرون با فویل آلومینیومی، به‌عنوان رسانا پوشانده شده و سپس به زمین متصل گردیده است. با برقرار نمودن اختلاف پتانسیل بین دو الکترود و در نتیجه ایجاد میدان الکتریکی، نمونه‌ها تحت تیمار قرار گرفت. مقدار ۱۵ میلی‌لیتر از نمونه آب پرتقال توسرخ در ظرفی به ابعاد ۱۵ × ۶۰ میلی‌متر ریخته و به‌مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه و با ولتاژ ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوولت تحت تابش پلاسمای سرد اتمسفری قرار گرفت. مدت زمان و ولتاژ استفاده شده در این پژوهش بر مبنای تحقیقات پیشین، انتخاب شد. نوع گاز نیز بر مبنای معمول‌ترین گاز استفاده شده در تحقیقات، گاز هوا استفاده شد (جدول ۱).

جدول (۱)- تیمارهای تحقیق بر اساس زمان و ولتاژ استفاده شده

تیمار	زمان (min)	ولتاژ (کیلوولت)
۱	۵	۲۰
۲	۱۰	۲۰
۳	۱۵	۲۰
۴	۵	۴۰
۵	۱۰	۴۰
۶	۱۵	۴۰
۷	۵	۶۰
۸	۱۰	۶۰
۹	۱۵	۶۰
۱۰	بدون هیچ‌گونه فرآیندی	
۱۱ (شاهد)	۹۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۵ ثانیه	

- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های تحقیق، از روش ذکر شده در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۸۵ استفاده گردید (ISIRI, 2685/2007). اندازه‌گیری pH با pH متر (Metrohm, Switzerland)، میزان اسیدیته با روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالئین، مواد جامد محلول در آب (بریکس) با استفاده از دستگاه رفرکتومتر (Metrohm, Switzerland) در دمای ۲۰ °C استفاده شد (ISIRI, 2685/2007).

- اندازه‌گیری ترکیبات فنل کل

برای اندازه‌گیری فنل کل، از اسپکتروفتومتر (Bausch & Lomb, Germany) و معرف فولین-سیوکالتو استفاده شد و جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری گردید و نتایج بر اساس میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد (Gonçalves *et al.*,2010).

- اندازه‌گیری آنتوسیانین

محتوای آنتوسیانین با استفاده از طیف‌سنجی UV-vis (Bausch & Lomb, Germany) و روش pH متفاوت به‌دست آمد (Mercali *et al.* 2015). جذب نمونه‌های تهیه شده توسط بافر pH ۴/۵ و pH ۱ به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت آنتوسیانیدین (mg/l) از رابطه (۱) محاسبه گردید (Fransis, 1975).

رابطه ۱:

$$B = \frac{\Delta A/\ L \times M \times D}{M}$$

D: فاکتور رقیق کردن، ΔA: اختلاف بین دو جذب؛ L: طول سل بر حسب سانتی‌متر و M: جذب مولی سیانیدین-۳-گلوکوزید است.

- اندازه‌گیری میزان ویتامین C

محتوای اسید اسکوربیک آب‌میوه با استفاده از روش طیف‌سنجی UV-vis اندازه‌گیری شد. هر نمونه با ۸۰۰ میکرولیتر تری کلرواستیک اسید (۱۰ درصد وزنی) مخلوط شد. در یک حمام یخ ذخیره شده و سانتریفیوژ شد (۳۰۰۰ g، ۱۰ دقیقه، ۲۵ درجه سلسیوس). مقدار ۵۰۰ میکرولیتر مایع رویی با ۲ میلی‌لیتر از آب فوق خالص و ۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین- سیوکالتو همگن شد و جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر تعیین شد. نتایج به‌عنوان میلی‌گرم اسید اسکوربیک در لیتر آب‌میوه بیان شد (Oliveira *et al.* 2018).

- رنگ سنجی

به‌منظور بررسی ویژگی‌های رنگی، از هانترلب (Hunter Lab optical, England) استفاده گردید. در این سیستم از سه شاخص L, a, b برای شرح دادن موقعیت دقیق رنگ سه‌بعدی استفاده گردید. بدین منظور نمونه‌ها در سل دستگاه ریخته شده و عدد مربوط به پارامترهای رنگ خوانده شد (Askari *et al.*, 2009).

- ویژگی‌های میکروبی

برای شمارش کلی‌فرم‌ها، ابتدا با محیط آبگوشت لوریل سولفات تریپتوز به‌مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شد و سپس با استفاده از محیط کشت تأییدی برلیانت گرین لاکتوز بایل براث به‌مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انجام شد (ISIRI, 11166/2008). شمارش کپک و مخمر در محیط کشت عصاره مخمر دکستروز-کلرامنفیکل آگار به‌مدت ۳ الی ۵ روز در ۲۵ درجه سلسیوس انجام شد (ISIRI, 10899-1/2008). شمارش کلی میکروبی با استفاده ازپلیت کانت آگار به‌مدت ۷۲ ساعت و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس انجام شد (ISIRI, 5272/2007).

- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

این پژوهش دارای ۱۱ تیمار (به‌همراه ۲ نمونه شاهد) است و جهت طراحی تیمارها از روش طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. جهت تشخیص معنی‌دار بودن ($p \leq ۰/۰۵$) تیمارها از تجزیه واریانس یک‌طرفه دانکن و دو طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

یافته‌ها

- نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی (اسیدیته، pH و بریکس)

در جدول (۲)، نتایج مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکوشیمیایی (اسیدیته، pH و بریکس) آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه شده به روش پلاسمای‌سرد و مقایسه آن با تیمار حرارتی و نمونه شاهد آورده شده است. با توجه به نتایج مشخص گردید که اثر تیمار بر تغییرات اسیدیته، pH و بریکس آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه‌شده به‌روش پلاسمای‌سرد معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود و با افزایش میزان ولتاژ از ۲۰ به ۶۰ کیلوولت میزان اسیدیته و بریکس افزایش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) و میزان pH کاهش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) یافت. در حالی‌که با افزایش زمان از ۵ به ۱۵ دقیقه، میزان اسیدیته، pH و بریکس در آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه‌شده به روش پلاسمای‌سرد تغییر معنی‌داری نداشت.

جدول ۲)- نتایج مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکوشیمیایی (اسیدیته، pH و بریکس)

تیمار	اسیدیته (g/l)	بریکس	pH
۱	۱۱/±۶۲۷ ۰/۱۴۰^{d}	۹/±۰۷۷ ۰/۱۳۴^{de}	۳/±۴۸۰ ۰/۰۰۰^{c}
۲	۱۱/±۲۳۳ ۰/۱۵۰^{d}	۸/±۸۳۳ ۰/۰۷۰^{e}	۳/±۵۰۶ ۰/۰۱۱^{b}
۳	۱۱/±۲۳۷ ۰/۱۲۷^{d}	۸/±۷۱۰ ۰/۱۵۱^{ef}	۳/±۵۰۳ ۰/۰۱۱^{bc}
۴	۱۲/±۹۸۰ ۰/۱۵۱^{b}	۱۰/±۰۳۳ ۰/۱۴۲^{b}	۳/±۳۹۶ ۰/۰۰۵^{e}
۵	۱۲/±۱۹۷ ۰/۱۳۶^{c}	۹/±۴۶۳ ۰/۱۴۶^{cd}	۳/±۴۴۳ ۰/۰۰۵^{d}
۶	۱۲/±۲۴۳ ۰/۲۱۶^{c}	۹/±۵۳۰ ۰/۲۰۲^{c}	۳/±۴۳۶ ۰/۰۰۵^{d}
۷	۱۳/±۶۱۳ ۰/۱۴۴^{a}	۱۰/±۵۰۷ ۰/۱۴۳^{a}	۳/±۳۴۶ ۰/۰۰۵^{g}
۸	۱۲/±۸۵۰ ۰/۱۲۱^{b}	۱۰/±۰۱۰ ۰/۱۶۵^{b}	۳/±۴۰۳ ۰/۰۰۵^{e}
۹	۱۳/±۱۴۷ ۰/۰۸۱^{ab}	۱۰/±۱۸۷ ۰/۱۲۹^{ab}	۳/±۳۸۰ ۰/۰۰۰^{ef}
۱۰	۱۰/±۴۷۷ ۰/۳۱۳^{e}	۸/±۳۳۳ ۰/۱۴۸^{f}	۳/±۵۵۶ ۰/۰۱۵^{a}
۱۱ (شاهد)	۱۳/±۳۳۰ ۰/۱۱۳^{fab}	۱۰/±۲۹۷ ۰/۰۷۲^{ab}	۳/±۳۶۰ ۰/۰۱۰^{fg}

نتایج به‌صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

a, b, c, d, e, f, g: حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون است.

- نتایج ترکیبات زیست‌فعال (آنتوسیانین، فنل کل و ویتامین C)

در جدول (۳)، نتایج مقایسه میانگین ترکیبات زیست‌فعال آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه شده به‌روش پلاسمای‌سرد و مقایسه آن با تیمار حرارتی و نمونه شاهد آورده شده است. نتایج نشان داد که اثر تیمار بر تغییرات ترکیبات زیست‌فعال آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه شده با پلاسمای‌سرد معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود و با افزایش میزان ولتاژ از ۲۰ به ۶۰ کیلوولت میزان ترکیبات زیست‌فعال کاهش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) و با افزایش زمان از ۵ به ۱۵ دقیقه، میزان ترکیبات زیست‌فعال افزایش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) یافت.

جدول ۳)- نتایج مقایسه میانگین ترکیبات زیست‌فعال (آنتوسیانین، فنل کل و ویتامین C)

تیمار	آنتوسیانین (mg/l)	فنل کل (mg GAE/l)	ویتامین C (mg/l)
۱	۰/۸۷۳±۴۸/۹۹۱^{c}	۲۲/۲±۱۹۲۹/۹^{c}	۴/۶۰±۳۸۶/۴۲^{c}
۲	۱/۱۴۵±۵۱/۲۴۸^{b}	۲۸/۸±۱۹۸۸/۲^{b}	۵/۸۷±۳۹۸/۰۰^{b}
۳	۰/۵۵۸±۵۱/۱۰۱^{b}	۱۴/۳±۱۹۸۶/۸^{b}	۲/۷۰±۳۹۷/۵۷^{b}
۴	۰/۲۸۸±۴۵/۲۸۶^{de}	۷/۰±۱۸۳۳/۸^{de}	۳/۵۴±۳۶۸/۵۴^{ef}
۵	۰/۵۶۴±۴۸/۰۱۲^{c}	۱۳/۳±۱۹۰۶/۱^{c}	۲/۴۰±۳۸۱/۵۸^{cd}
۶	۰/۳۸۰±۴۷/۹۴۷^{c}	۸/۵±۱۹۰۴/۱^{c}	۱/۸۶±۳۸۱/۲۸^{cd}
۷	۰/۲۶۸±۴۳/۰۲۳^{f}	۷/۹±۱۷۷۴/۰^{f}	۴/۲۷±۳۵۳/۶۹^{g}
۸	۰/۴۶۱±۴۶/۰۳۰^{d}	۱۲/۴±۱۸۵۵/۴^{d}	۲/۵۴±۳۷۱/۵۱^{de}
۹	۰/۳۰۸±۴۴/۹۱۳^{de}	۸/۸±۱۸۲۵/۹^{de}	۱/۷۱±۳۶۵/۹۱^{ef}
۱۰	۰/۸۲۹±۵۳/۳۹۶^{a}	۲۰/۲±۲۰۴۶/۸^{ab}	۴/۱۲±۴۰۹/۷۴^{a}
۱۱ (شاهد)	۰/۵۹۹±۴۳/۹۵۸^{ef}	۱۸/۲±۱۷۹۸/۱^{ef}	۳/۳۹±۳۶۰/۰۴^{fg}

نتایج به‌صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

a, b, c, d, e, f, g: حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون می‌باشد.

- نتایج خصوصیات رنگی (مؤلفه‌های a*، b* و L*)

در جدول (۴)، نتایج مقایسه میانگین خصوصیات رنگی (مولفه های a*، b* و L*) آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه‌شده به روش پلاسمای‌سرد و مقایسه آن با تیمار حرارتی (شاهد ۱) و بدون فرایند حرارتی (شاهد ۲) آورده شده است. با توجه به نتایج مشخص گردید که اثر تیمار بر تغییرات خصوصیات رنگی (مولفه‌های a*، b* و L*) آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه شده به روش پلاسمای‌سرد معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود. به‌طوری‌که در آب‌پرتقال پاستوریزه شده به روش پلاسمای‌سرد با افزایش میزان ولتاژ از ۲۰ به ۶۰ کیلوولت میزان رنگ مولفه L* کاهش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) و با افزایش زمان از ۵ به ۱۵ دقیقه، میزان رنگ مؤلفه L* افزایش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) یافت. همچنین با افزایش میزان ولتاژ از ۲۰ به ۶۰ کیلوولت میزان رنگ مؤلفه a* و b* افزایش و با افزایش زمان از ۵ به ۱۵ دقیقه، میزان رنگ مؤلفه a* و b* کاهش یافت؛ درحالی‌که این افزایش و کاهش معنی‌دار نبود.

جدول ۴) - نتایج مقایسه میانگین خصوصیات رنگی (**a***، **b*** و **L***)

تیمار	L*	a*	b*
۱	۲۶/±۷۶۴ ۰/۱۷۲^{c}	۳۷/±۹۶۱ ۰/۳۳۵^{de}	۲۲/±۹۴۱ ۰/۱۶۷^{cd}
۲	۲۷/±۱۲۹ ۰/۱۴۹^{b}	۳۷/±۶۷۱ ۰/۰۴۰^{e}	۲۲/±۶۱۲ ۰/۰۲۳^{de}
۳	۲۷/±۰۹۰ ۰/۰۷۷^{b}	۳۷/±۵۳۰ ۰/۱۶۶^{ef}	۲۲/±۶۹۴ ۰/۲۵۶^{d}
۴	۲۵/±۹۸۴ ۰/۰۵۳^{e}	۳۸/±۶۲۳ ۰/۱۰۳^{bc}	۲۳/±۷۰۶ ۰/۲۶۴^{ab}
۵	۲۶/±۴۷۶ ۰/۰۴۳^{d}	۳۸/±۳۲۵ ۰/۲۰۸^{cd}	۲۳/±۴۰۹ ۰/۰۷۱^{bc}
۶	۲۶/±۴۲۰ ۰/۰۳۴^{d}	۳۸/±۲۷۷ ۰/۱۵۱^{cd}	۲۳/±۴۱۵ ۰/۱۱۲^{bc}
۷	۲۵/±۵۲۰ ۰/۰۴۸^{g}	۳۹/±۲۱۱ ۰/۲۰۹^{a}	۲۴/±۱۳۶ ۰/۱۴۲^{a}
۸	۲۶/±۰۶۶ ۰/۰۴۶^{e}	۳۸/±۷۰۷ ۰/۱۳۰^{abc}	۲۳/±۶۸۷ ۰/۲۴۶^{ab}
۹	۲۵/±۸۷۰ ۰/۰۳۵^{ef}	۳۸/±۹۲۱ ۰/۱۹۶^{ab}	۲۳/±۸۷۴ ۰/۰۵۹^{ab}
۱۰	۲۷/±۶۲۰ ۰/۱۲۸^{a}	۳۷/±۱۳۳ ۰/۰۹۶^{f}	۲۲/±۱۳۷ ۰/۱۸۹^{e}
۱۱ (شاهد)	۲۵/±۶۵۳ ۰/۰۷۹^{fg}	۳۹/±۰۶۱ ۰/۱۷۵^{ab}	۲۴/±۰۱۵ ۰/۰۵۸^{a}

نتایج به‌صورت میانگین ±انحراف معیار نشان داده شده است.

a, b, c, d, e, f, g: حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون می‌باشد.

- نتایج خصوصیات میکروبی (کپک و مخمر، باکتری‌های هوازی و کلی‌فرم)

در جدول (۵) نتایج مقایسه میانگین خصوصیات میکروبی (باکتری‌های هوازی، کلی‌فرم و کپک و مخمر) آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه‌شده به روش پلاسمای‌سرد و مقایسه آن با تیمار حرارتی و نمونه شاهد آورده شده است. با توجه به نتایج مشخص گردید که اثر تیمار بر تغییرات میزان کپک و مخمر، باکتری‌های هوازی آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه شده به روش پلاسمای سرد معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) و بر تغییرات کلی‌فرم معنی‌دار نبود. بطوریکه در اب‌پرتقال پاستوریزه‌شده به روش پلاسمای‌سرد با افزایش میزان ولتاژ از ۲۰ به ۶۰ کیلوولت، میزان کپک و مخمر و باکتری‌های هوازی کاهش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) داشت و با افزایش زمان از ۵ به ۱۵ دقیقه، میزان کپک و مخمر و باکتری‌های هوازی تغییر معنی‌داری نداشت. همچنین در تمام تیمارها میزان کلی‌فرم کمتر از ۱ cfu/ml گزارش گردید.

جدول ۵) – نتایج مقایسه میانگین خصوصیات میکروبی (باکتری‌های هوازی، کلی‌فرم و کپک و مخمر)

تیمار	کلی فرم (cfu/ml)	باکتری‌های هوازی (cfu/ml)	کپک و مخمر (Log cfu/ml)
۱	<۱	۱/±۹۰۶ ۰/۰۹۹^{b}	۰/±۷۹۶ ۰/۰۸۴^{ab}
۲	<۱	۲/±۰۵۶ ۰/۰۷۶^{ab}	۰/±۹۰۰ ۰/۰۵۴^{ab}
۳	<۱	۲/±۰۱۳ ۰/۰۹۵^{b}	۰/±۸۸۱ ۰/۰۶۳^{ab}
۴	<۱	۱/±۴۰۵ ۰/۰۶۷^{c}	۰/±۵۱۸ ۰/۰۷۲^{cd}
۵	<۱	۱/±۷۶۴ ۰/۱۰۷^{b}	۰/±۷۱۹ ۰/۱۰۱^{bc}
۶	<۱	۱/±۷۶۸ ۰/۱۲۷^{b}	۰/±۷۴۱ ۰/۱۲۵^{bc}
۷	<۱	۰/±۶۹۳ ۰/۰۸۸^{e}	۰/±۳۰۱ ۰/۰۰۰^{d}
۸	<۱	۱/±۱۱۷ ۰/۱۰۰^{cd}	۰/±۴۱۸ ۰/۱۰۱^{d}
۹	<۱	۰/±۹۴۲ ۰/۱۲۱^{de}	۰/±۴۱۸ ۰/۱۰۱^{d}
۱۰	<۱	۴/±۳۱۲ ۰/۱۰۷^{a}	۲/±۹۸۳ ۰/۰۵۰^{a}
۱۱ (شاهد)	<۱	۱/±۳۸۲ ۰/۱۰۷^{c}	۰/±۵۱۸ ۰/۰۷۲^{cd}

نتایج به‌صورت میانگین ±انحراف معیار نشان داده شده است.

a, b, c, d, e: حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر همراستا با نتایج سایر محققین بود. تأثیر پلاسمای اتمسفر سرد بر خواص فیزیکوشیمیایی آب سیب، پرتقال، گوجه فرنگی و آلبالو بررسی گردید و نتایج نشان داد که مقادیر pH به‌طور قابل‌توجهی تغییر نکرد (Dasan & Boyaci, 2018). همچنین یافته‌های حاصل از بررسی تأثیر پلاسمای‌سرد بر ویژگی‌های شیمیایی آب نارنگی، حاکی از تغییرات معنی‌داری در خصوصیات فیزیکوشیمیایی در آب نارنگی پاستوریزه بود (Yannam *et al.*, 2018) که مشابه نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر بود.

ترکیبات فنولی متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که توان آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند و از طرق مختلف در حذف و جلوگیری از ایجاد رادیکال‌های آزاد مؤثرند. سازوکار اساسی کاهش محتوای فنل کل به‌علت آزاد شدن ترکیبات فنلی پیوند شده، تجزیه جزئی لیگنین و آزاد شدن مشتقات فنولیک اسید و شروع تجزیه حرارتی ترکیبات فنلی است که تجزیه لیگنین در اثر حرارت و آزاد شدن ترکیبات فنلی مرحله آغازی تجزیه ترکیبات فنلی می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2020; Noorisefat, *et al.*, 2022) که نتایج تحقیق حاضر کاهش در میزان ترکیبات فنلی در تیمارهای پلاسما نسبت به تیمار بدون هیچ‌گونه فرآیندی و افزایش در میزان ترکیبات فنلی در تیمارهای پلاسما نسبت به تیمار فرآیند حرارتی نشان داد. سایر محققین نیز نتایج مشابهی به‌دست آوردند. مانند حفظ محتوای فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های آب‌پرتقال پری‌بیوتیک تحت درمان پلاسما (Almeida *et al.*, 2015)، افزایش محتوی ترکیبات فنولیک در نمونه‌های پاستوریزه آب انار از ۲۹/۵۵ درصد به ۳۳/۰۳ درصد بعد از اعمال پلاسما (Herceg *et al.*, 2016) و افزایش محتوای فنولیک در آب زغال اخته (Hou *et al.*, 2019).

تأثیر مثبت کاربرد پلاسما بر ویتامین C عمدتاً به ولتاژ و زمان قرار گرفتن در معرض پلاسما بستگی دارد. ولتاژهای بزرگتر (۸۰ کیلو ولت) ممکن است محتوای ویتامین C را افزایش دهند اما فقط زمانی که برای مدت کوتاه کمتر از ۵ دقیقه اعمال شوند. به‌نظر می‌رسد کاهش ولتاژ اعمال شده (۲۰ تا ۲۵ کیلو ولت) منجر به افزایش بیشتر ویتامین C حتی پس از دوره‌های طولانی قرار گرفتن در معرض (۱۵ تا ۳۰ دقیقه) می‌شود (De Castro *et al.*, 2020). ویتامین C بسیار حساس به تخریب گرما است و به‌راحتی در فرآیندهای دمای بالا بی‌ثبات می‌شود (Xu *et al.*, 2017). در تحقیق حاضر میزان ویتامین C در تیمار فرآیند حرارتی نسبت به آب‌میوه‌های تیمار شده با پلاسما کمتر و آب‌میوه‌های تیمار شده با پلاسما نسبت به تیمار بدون فرآیند کمتر می‌باشد که با نتایج مطالعات دیگر (Sarangapani *et al.*, 2019; Neves *et al.*, 2015; Souza Compa *et al.*, 2019) مشابهت داشت. در برخی از مطالعات، با اعمال پلاسمای سرد روی زغال اخته (Dong and Yang, 2019)، محتوای اسید اسکوربیک افزایش یافت و تحت تأثیر زمان فرآیند قرار گرفت که علت آن را می‌توان این‌گونه بیان کرد که وقتی سرعت بازسازی اسید اسکوربیک (ناشی از چرخه آسکوربات–گلوتاتیون) بیشتر از سرعت تخریب اسید اسکوربیک باشد (به دلیل واکنش آن با سایر گونه‌های تولید شده توسط پلاسما)، محتوای ویتامین C افزایش می‌یابد (Gomes Castro *et al.*, 2020). این واقعیت ممکن است افزایش محتوای اسید اسکوربیک در آب‌پرتقال توسرخ تحت اعمال فرآیند پلاسما نسبت به فرآیند حرارتی را توضیح دهد.

افزایش غلظت آنتوسیانین پس از درمان با پلاسمای سرد در تحقیق حاضر ممکن است به پارگی جزئی یا کلی غشای سلولی مربوط باشد. اختلال در دیواره‌های سلولی گیاه می‌تواند نفوذ سریعتر و کامل‌تر حلال را به مواد سلولی فراهم کند که انتقال جرم را بهبود بخشد و استخراج ترکیبات زیست‌فعال را افزایش دهد. یا این‌که آنتوسیانین‌های گلیکوزیله در برابر تخریب مقاوم‌تر هستند و در طی پردازش پلاسمای‌سرد پایدار می‌مانند (Bursać Kovačević *et al.*, 2016).

طبق نتایج به‌دست‌آمده طی تحقیقات مختلف بیانگر افزایش در محتوای ترکیبات زیست‌فعال در آب میوه‌های مختلف است. علت این حالت می‌تواند ناشی از دانه‌ها یا ذرات با اندازه کوچک تعریف نشده باشد که با تیمار پلاسما از هم جدا می‌شوند (Garofuli *et al.*, 2015). مطالعات دیگر همچنین افزایش غلظت ترکیبات فعال زیستی مانند محتوای آنتوسیانین در زغال‌اخته (Dong and Yang, 2019) و کاروتنوئیدها در آب آسرولا (Acerola) را مشاهده کردند (Fernandes *et al.*, 2019). طی تحقیقی بهبود در ویژگی‌های فیتوشیمیایی (مثل اسید آسکوربیک و فنول) پالپ انبه با افزایش زمان تیمار پلاسمای‌سرد تا ۶ دقیقه مشاهده شد (Abedelmaksoud *et al.*, 2022). این مطالعات نشان می‌دهند که نوع محصول غذایی، منبع تولید پلاسما، حالت مواجه پلاسما (مستقیم یا غیرمستقیم) با ماده مورد نظر، در کنترل اثرات پلاسمای سرد روی فعالیت ترکیبات زیست‌فعال محصولات غذایی حیاتی هستند (Pankaj *et al.*, 2018).

روش‌های حرارتی تأثیر بسیاری بر غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها دارند ولی اعمال دمای بالای

پاستوریزاسیون اثرات نامطلوبی روی مواد مغذی و ارزش تغذیه‌ای ماده غذایی به جای می‌گذارد. به‌همین دلیل استفاده از روش‌های غیرحرارتی برای پاستوریزاسیون مورد مطالعه قرار گرفت (Tavakoli, *et al.*, 2013). نتایج میزان مولفه‌های رنگی (L*، a* و b*) به‌دست آمده از تحقیق حاضر مشابه نتایج سایر محققین بود. یافته‌های محققین نشان داد که تمامی نمونه‌های تیمار شده با پلاسما محتوای شاخص روشنایی و قرمزی بیشتری نسبت به نمونه آب زرشک پاستوریزه شده (در دمای ۸۰ درجه سلسیوس) داشتند (Rahnamaye *et al.*, 2018). همچنین حفظ رنگ اصلی آب زغال اخته طی فرایند پلاسمای‌سرد (Hou *et al.*, 2019) و بهبود پارامتر رنگ با افزایش زمان تیمار پلاسمای‌سرد تا ۶ دقیقه در پالپ انبه (Abedelmaksoud *et al.*, 2022) مشاهده شد و با نتایج تحقیق حاضر که بیانگر بهبود ویژگی‌های رنگی آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه به‌روش پلاسمای‌سرد (در شرایط ۲۰ کیلوولت، مدت زمان ۱۰ دقیقه و گاز هوا) بود، مشابهت داشت.

تجمع ذرات باردار پلاسما روی سطح غشای سلولی میکروب، باعث تخریب دیواره و کشته شدن آن‌ها می‌شود. از طرفی اکسیداسیون لیپیدها، آمینواسیدها و اسیدهای نوکلئیک توسط اکسیژن و نیتروژن فعال، باعث تغییراتی در غشای سلولی و جراحت و مرگ می‌شود (Ozen & Singh, 2020).

افزایش زمان اعمال پلاسما منجر به افزایش سطح گونه‌های واکنش‌گر می‌گردد. همچنین افزایش زمان تیمار با افزایش زمان تماس بین میکروارگانیسم‌ها و گونه‌های واکنش‌گر، سبب افزایش اثر میکروب‌کشی می‌شود (Moritz *et al.*, 2017). به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از تیمار پلاسما در آب‌پرتقال توسرخ موجب حفظ و حتی بهبود ارزش تغذیه‌ای شده و توانست بار میکروبی این محصول را تا حد مورد تأیید اداره استاندارد ملی کاهش دهد. آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه شده به‌روش پلاسمای سرد (در شرایط ۶۰ کیلوولت، مدت زمان ۵ دقیقه و گاز هوا) از نظر بار میکروبی کلی‌فرم، باکتری‌های هوازی و کپک و مخمر، کم‌ترین میزان را داشت. طبق استاندارد ملی ایران میزان کپک و مخمر در آب‌میوه باید کمتر از ۱ cfu/ml (ISIRI, 10899-1/2008)، میزان باکتری‌های هوازی کمتر از ۱۰ cfu/ml (ISIRI, 5272/2007) و کلی‌فرم کمتر از ۱ cfu/ml (ISIRI, 11166/2008) باشد.

مکانیسم عمل به ویژگی‌های پلاسمای به‌کار رفته از جمله ولتاژ مورد استفاده در تولید پلاسما، گاز مورد استفاده، رطوبت نسبی محیط و فاصله میکروب‌ها از جرقه پلاسما و نوع میکروب (گرم مثبت و گرم منفی بودن و وجود اسپورها) بستگی دارد (Ozen & Singh, 2020). در این مطالعه افزایش زمان تیمار و ولتاژ بر قدرت کشندگی پلاسما بررسی گردید و روند کاهشی در میزان میکروارگانیسم‌ها با افزایش ولتاژ تیمار پلاسما دیده شد. تاکنون سه مکانیسم برای غیرفعال‌سازی میکروبی پلاسمای سرد شناخته شده است: ۱- واکنش شیمیایی رادیکال‌های آزاد (نظیر O^* و OH^*)، گونه‌های فعال (نظیر NO_x ، H_2O_2، O_3،O) یا ذرات باردار (نظیر e، H^+، OH^-،O^-) تولید شده با غشای سلولی، ۲- تخریب غشا و اجزای سلولی با UV تولید شده در پلاسما و ۳- تخریب مستقیم DNA سلول با UV. در مطالعه حاضر، تصور می‌شود که ترکیبی از سه مکانیسم

مذکور توانسته است میزان میکروارگانیسم‌ها را در نمونه‌های تیمار شده کاهش دهد. به‌طوری‌که گونه‌های مختلف تولید شده در پلاسما با حمله به سلول‌های میکروبی، سبب تخریب اجزای پروتئین‌ها، چربی‌ها و DNA آن‌ها شده‌اند (Hosseinzadeh *et al*., 2017).

کاهش بار میکروبی در تحقیق حاضر، مشابه نتایج غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های آب زرشک (Siadati, *et al*., 2018)، کاهش بار میکروبی در آب توت‌فرنگی (Mehta and Yadav, 2019)، کاهش جمعیت میکروب‌های هوازی و تعداد کپک و مخمر در پالپ انبه (Abedelmaksoud *et al*., 2022) در نتیجه اعمال فرآیند پلاسمای سرد اتمسفری بود.

مشخص گردید که پلاسما در قیاس با کپک و مخمر و باکتری‌های هوازی، اثر بیشتری بر کلی‌فرم‌ها دارد که می‌تواند به دلیل ساختار دیواره سلولی متفاوت در گروه‌های مختلف میکروبی باشد. دیواره سلولی قارچ‌ها متشکل از اجزایی مانند کیتین و فیبریل‌های سلولز با ماتریکس پلی‌ساکاریدی و غشاء پپتیدوگلیکان دیواره باکتری‌ها است (Amini and Ghoranneviss, 2016).

به‌نظر می رسد پلاسمای اتمسفر یک فناوری امیدوارکننده برای غیرفعال‌سازی میکروبی بدون ایجاد تغییرات نامطلوب در محصولات غذایی باشد (Dasan & Boyaci, 2018). در این تحقیق، پلاسمای‌سرد اتمسفری بار میکروبی آب‌پرتقال توسرخ را با کم‌ترین اثر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رنگ، کاهش داد. بنابراین می‌توان از این فناوری به‌عنوان یک فناوری نوین غیرحرارتی برای پاستوریزاسیون آب‌پرتقال توسرخ به‌جای عملیات حرارتی استفاده کرد. تیمار آب‌پرتقال توسرخ پاستوریزه‌شده به روش پلاسمای‌سرد در شرایط ۲۰ کیلوولت، مدت زمان ۱۰ دقیقه و گاز هوا، از نظر بار میکروبی در محدوده قابل قبول استاندارد ملی ایران بود ولی از نظر ترکیبات زیست‌فعال (آنتوسیانین، فنل کل و ویتامین C)، بالاترین میزان را داشت و به‌عنوان تیمار برتر از نظر سلامت بخشی در نظر گرفته شد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- Abedelmaksoud, T.G., Hesarinejad, M.L. and Yancheshmeh, B.S. (2022). The Effect of cold plasma on the enzymatic activity and quality characteristics of mango pulp. Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 10(4): 341-350.
- Ahmadi, E., Daliri, R., Saeidi Asl, M.R. and Rahimi, N. (2020). Optimization of the extraction process of phenolic compounds from the pistacia Atlantica leaves (sub sp. Mutica Pistacia Atlantica) using ultrasound. Journal of Innovation in Food Science and Technology, 12(1): 158-167. [In Persian]
- Almeida, F.D.L., Cavalcante, R.S., Cullen, P.J., Frias, J.M., Bourke, P., Fernandes, F.A. *et al.* (2015). Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 32: 127-135.

- Amini, M. and Ghoranneviss, M. (2016). Effects of cold plasma treatment on antioxidants activity, phenolic contents and shelf life of fresh and dried walnut (*Juglans regia* L.) cultivars during storage. LWT-Food Science and Technology, 73: 178-184.
- Askari, F., Sefidkon, F., Teimouri, M. and Yousef Nanaei, S. (2009). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of Pimpinella puberula (DC.) Boiss. Journal of Agricultural Science and Technology (JAST), 11(4): 431-438.
- Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Režek Jambrak, A. and Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. Food Chemistry, 190: 317–323.
- Campelo, P.H., Filho, E.G.A., Silva, L.M., De Brito, E.S., Rodrigues, S. and Fernandes, F.A. (2020). Modulation of aroma and flavor using glow discharge plasma technology. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 62: 1-10.
- Continella, A., Pannitteri, C., La Malfa, S., Legua, P., Distefano, G. and Nicolosi, E. (2018). Influence of different rootstock on yield precocity and fruit quality of "Tarocco Sciré" pigmented sweet orange. Scientia Horticulturae, 230: 62–67.
- Dasan, B.G. and Boyaci, I.H. (2018). Effect of cold atmospheric plasma on inactivation of *Escherichia coli* and physicochemical properties of apple, orange, tomato juices, and sour cherry nectar. Food and Bioprocess Technology, 11: 334–343.
- De Castro, D..RG., Mar, J.M., da Silva, L.S., da Silva, K.A., Sanches, E.A., Bezerra, J.D.A., *et al*. (2020). Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency. Food Research International, 131: 109044.
- Dong, X.Y. and Yang, Y.L. (2019). A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure. Food and Bioprocess Technology, 12(8): 1409–1421.
- Fernandes, F.A.N. and Rodrigues, S. (2021). Cold plasma processing on fruits and fruit juices: A review on the effects of plasma on nutritional quality. Processes, 9(12): 2098.
- Fernandes, F.A.N., Santos, V.O. and Rodrigues, S. (2019). Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. Food Research International, 115(2018): 16–22.
- Fransis, F.J. (1975). Anthocyanin as Food Colores. Journal of Food Technology, Modern Herbal, London: Tiger Books International. 4: 52.
- Garofulić, I.E., Jambrak, A.R., Milošević, S., Dragović-Uzelac, V., Zorić, Z. and Herceg, Z. (2015). The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry Marasca (*Prunus cerasus* var. Marasca) juice. LWT-Food Science and Technology, 62(1): 894-900.
- Gomes Castro, D.R., Moreira Mar, J., Souza da Silva, L., Araújo da Silva, K., Sanches, E.A., Bezerra, J.D. *et al.* (2020). Improvement of the bioavailability of amazonian juices rich in bioactive compounds using glow plasma technique. Food and Bioprocess Technology, 13: 670–679.
- Gonçalves, E.M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T.R.S. and Silva, C.L.M. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. Journal of Food Engineering, 97: 574-581.
- Habibi, F., Ramezanian, A., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M. and Valero, D. (2020). Changes in bioactive compounds, antioxidant activity, and nutritional quality of blood orange cultivars at different storage temperatures. Antioxidants. 9: 10-16.
- Herceg, Z., Kovačević, D.B., Kljusurić, J.G., Jambrak, A.R., Zorić, Z. and Dragović- Uzelac, V. (2016). Gas phase plasma impact on phenolic compounds in pomegranate juice. Food Chemistry, 190: 665-672.

- Hosseinzadeh Colagar, A., Mortazavi, S.M., Arab-Yarmohammadi, V. and Sohbatzadeh, F. (2017). Molecular effects of atmospheric pressure plasma jet on the double-stranded DNA. Iranian Journal of Medical Physics, 14(1): 29-37.
- Hou, Y., Wang, R., Gan, Zh., Shao, T., Zhang, X., He, M. *et al.* (2019). Effect of cold plasma on blueberry juice quality. Food Chemistry, 290: 79-86.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2007). Microbiology of food and animal feed - a comprehensive method for the general enumeration of microorganisms. ISIRI NO. 5272. [In Persian]
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2007). Juices - test methods. ISIRI NO. 2685. [In Persian]
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2008). Microbiology of food and animal feed - Comprehensive method for counting and counting coliforms. ISIRI NO. 11166. [In Persian]
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2008). Microbiology of food and animal feed - A comprehensive method for counting molds and yeasts. ISIRI NO. 10899-1. [In Persian]
- Kovačević, B.D., Putnik, P., Dragović- Uzelac, V., Vahčić, N., Babojelić, M.S. and Levaj, B. (2015). Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams. Food Chemistry, 181: 94-100.
- Kovačević, D.B., Putnik, P., Dragović- Uzelac, V., Pedisić, S., Jambrak, A.R. and Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. Food Chemistry, 190: 317- 323.
- Leite, A.F., Fonteles, T.V., Miguel, T.B.A.R., Silvestre da Silva, G., Sousa de Brito, E., Alves Filho, E.G. *et al.* (2021). Atmospheric cold plasma frequency imparts changes on cashew apple juice composition and improves vitamin C bioaccessibility. Food Research International. 147: 81-94.
- Lo Piero, A.R. (2015). The state of the art in biosynthesis of anthocyanins and its regulation in pigmented sweet orange [(*Citrus sinensis*) L, Osbeck]. Journal Agricultuer Food Chemestry, 163: 4031–4041.
- Mehta, D. and Yadav, S.K. (2019). Impact of atmospheric non-thermal plasma and hydrothermal treatment on bioactive compounds and microbial inactivation of strawberry juice: A hurdle technology approach. Food Science and Technology International, 26(1): 3–10.
- Mercali, G.D., Gurak, P.D., Schmitz, F. and Marczak, L.D.F. (2015). Evaluation of non-thermal effects of electricity on anthocyanin degradation during ohmic heating of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) juice. Food Chemistry, 171: 200–205.
- Moritz, M., Wiacek, C., Koethe, M. and Braun, P.G. (2017). Atmospheric pressure plasma jet treatment of *Salmonella* Enteritidis inoculated eggshells. International Journal of Food Microbiology, 245: 22-28.
- Neves, L.C., da Silva, V.X., Pontis, J.A., Flach, A. and Roberto, S.R. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in pre harvest camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh] fruits. Scientia Horticulturae, 186: 223–229.
- Noorisefat, F., Nateghi, L. and Zarei, H. (2022). Comparison of the effect of ultrasonic and thermal pasteurization on total phenol content and microbial load of sour cherry juice. Food Hygiene, 11(4); 1-14. [In Persian]
- Oliveira, A.F.A., Mar, J.M., Santos, S.F., da Silva Júnior, J.L., Kluczkovski, A.M., Bakry, A.M., *et al.* (2018). Non-thermal combined treatments in the processing of açai (*Euterpe oleracea*) juice. Food Chemistry, 265: 57–63.
- Ozen, E. and Singh, R.K. (2020). Atmospheric cold plasma treatment of fruit juice: A review. Trends in Food Science & Technology, 103: 144-151.

- Pankaj, S.K., Wan, Z. and Keener, K.M. (2018). Effects of cold plasma on food quality: A review." Foods. 7(1): 4.
- Rahnamaye Akhary, T., Javanmard Dakheli, M. and Abbaszade, R. (2018). Effects of cold plasma on color changes, anthocyanins content and microbial quality of barberry juice. Journal Food Science and Industry, 82(15): 373-385. [In Persian]
- Sarangapani, C., O'Toole, G., Cullen, P.J. and Bourke, P. (2017). Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 44: 235–241.
- Siadati, S.N., Sohbatzadeh, F., Behravan, F., Shafafi Zanoozian, M. and Tabatabaee Yazdi, F. (2018). Non-thermal atmospheric pressure plasma as an alternative method in microorganism inactivation of barberry juice. Food Science and Industry, 77(15): 219-228. [In Persian]
- Souza Comapa, S., Carvalho, L.M.S., Lamarão, C.V., das Chagas, F., do Souza, A., Aguiar, J.P.L. *et al.* (2019). Microwave processing of camu-camu juices: physicochemical and microbiological parameters. Journal of Food Processing and Preservation, 43(7): 1–11.
- Surowsky, B., Fröhling, A., Gottschalk, N., Schlüter, O. and Knorr, D. (2014). Impact of cold plasma on *Citrobacter freundii* in apple juice: Inactivation kinetics and mechanisms. International Journal of Food Microbiology, 174: 63-71.
- Tavakoli Dekhrabadi, M., Hamidi Esfahani, Z. and Abbasi, S. (2013). The effect of ultrasonic waves on some qualitative properties of carrot juice using the response surface method. Quarterly Journal of New Food Sciences and Technologies. 2(5); 17-25. [In Persian]
- Xu, L., Garner, A.L., Tao, B. and Keener, K.M. (2017). Microbial inactivation and quality changes in orange juice treated by high voltage atmospheric cold plasma. Food and Bioprocess Technology, 10(10): 1778–1791.
- Yannam, S.K., Estifaee, P., Rogers, S. and Thagard, S.M. (2018). Application of high voltage electrical discharge plasma for the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 700891 in tangerine juice. LWT-Food Science and Technology, 90: 180-185.