

The effect of thermal sonication of bioactive compounds and some of the quality parameters of sour cherry juice compared to the usual pasteurization method

Hooshyar, L.¹, Hesari, J.², Azadmard-Damirchi, S.^{3*}, Şengül, M.⁴

1. Ph.D Graduate of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
 2. Professor of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
 3. Professor of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
 3. Food and Drug Safety Research Center, Health Management and Safety Promotion Research Institute, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran
 4. Professor of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ataturk University, Erzurum, Turkey
- *Corresponding Author: sodeifazadmard@yahoo.com
(Received: 2017/12/9 Accepted: 2018/4/28)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of thermal sonication in comparison with the usual pasteurization method on the bioactive compounds and their contents in sour cherry juice. The treatments were: controlled sample, pasteurized sample (90 °C, 30 sec), heated sample at 60 °C for 4,8,12 min, ultrasound sample without heating for same times with amplitudes of 24.4, 42.7, 61µm (50, 75, 100%), ultrasound sample with heating (60 °C) for same times and amplitudes. Pasteurization treatment caused a significant decrease of 31.7% in vitamin C content, 22.9% of phenolic content, 19.4% in the antioxidant content, 6.2% in anthocyanin content of the sour cherry juice. At maximum thermal ultrasound intensity and time of 12 minutes, 20.8% of vitamin C content was decreased. With increasing temperature, intensity and time of ultrasound, phenol content decreased. High intensities of ultrasound caused a significant decrease in anthocyanin content, in a way that in the intensity of 61 µm, 4 min and 60 °C, the anthocyanin content was reduced by 6.6%, respectively. In general, the results of this study indicate that increasing the intensity of ultrasound, temperature and treatment time reduced the positive effect of these treatments on qualitative properties and even reduced the bioactive compounds, that with regard to the combined results, 42.7 µm (75%) amplitude at 60 °C can be the most effective treatment in maintaining the qualitative characteristics of sour cherry juice compared to the pasteurization method.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Ultrasound, Sour cherry juice, Bioactive compounds, Pasteurization

DOI: 10.30495/JFH.2024.543643

«مقاله پژوهشی»

تأثیر سونیکاسیون حرارتی بر ترکیبات زیست‌فعال آب آلبالو در مقایسه با روش معمول پاستوریزاسیون

لیلا هوشیار^۱، جواد حصاری^۲، صدیف آزادمرد دمیچی^{۳*}، ممنونه شن‌گول^۴

۱. دانش‌آموخته دکتری علوم و صنایع، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲. استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳. استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳. مرکز تحقیقات ایمنی غذا و دارو، پژوهشکده مدیریت سلامت و ارتقای ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

۴. استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آتاتورک، ارزروم، ترکیه

*نویسنده مسئول مکاتبات: sodeifazadmard@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۹۶۹/۱۸ پذیرش نهایی: ۹۷/۲/۸)

چکیده

هدف از این پژوهش، مطالعه تأثیر سونیکاسیون حرارتی در مقایسه با روش معمول پاستوریزاسیون روی ترکیبات زیست‌فعال و برخی از ویژگی‌های آب آلبالو بود. تیمارها شامل نمونه کنترل، نمونه پاستوریزه شده (۹۰ درجه سلسیوس، ۳۰ ثانیه)، نمونه حرارت داده شده در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه، نمونه فراصوت بدون حرارت در همان زمان‌ها و دامنه‌های ۴/۲، ۷/۴ و ۷/۵۰ میکرومتر (۷۵ و ۱۰۰ درصد) و نمونه فراصوت با حرارت ۶۰ درجه سلسیوس در همان مدت و دامنه‌ها بودند. تیمار پاستوریزاسیون کاهش ۳۱/۷ درصد از محتوای ویتامین ث، ۲۲/۹ درصد از محتوای فنولی، ۱۹/۴ درصد از محتوای آنتی‌اکسیدانی، ۶/۲ درصد از محتوای آنتوسیانینی آب آلبالو را موجب شد. در دامنه ۶۱ میکرومتر فراصوت دمای ۶۰ درجه سلسیوس و زمان ۱۲ دقیقه، ۲۰/۸ درصد از محتوای ویتامین ث کاسته شد. هم‌چنین، با افزایش دما، دامنه و زمان فراصوت میزان محتوای فنولی کاهش یافت. دامنه‌های بالای فراصوت کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) در محتوای آنتوسیانینی را موجب گردید به طوری که در دامنه ۶۱ میکرومتر، زمان ۴ دقیقه و دمای ۶۰ درجه سلسیوس محتوای آنتوسیانینی ۶/۶ درصد کاسته شد. در کل، نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد تیمار فراصوت با دامنه ۷/۴ میکرومتر (۷۵ درصد) در دمای ۶۰ درجه سلسیوس می‌تواند مؤثرترین تیمار در حفظ خصوصیات کیفی آب آلبالو در مقایسه با روش پاستوریزاسیون باشد.

واژه‌های کلیدی: فراصوت، آب آلبالو، ترکیبات زیست‌فعال، پاستوریزاسیون

مقدمه

با توجه به توانایی غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها، تیمارهای دمایی نظیر پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون به‌طور معمول در صنایع غذایی برای نگهداری مواد غذایی به‌کار می‌روند. تحقیقات مختلف نشان داده که دمای بالا در طی این فرآیندها اغلب تغییرات فیزیکی و شیمیایی را به‌همراه دارد که بر ویژگی‌های حسی اثر گذاشته و مقدار و دسترسی مواد مغذی را کاهش می‌دهد (Pena et al., 2016). افزایش تقاضا و تشدید قوانین غذایی، تکنیک‌های مرسوم فرآوری مواد غذایی کارایی خود را از دست داده‌اند که باعث پیدایش تکنولوژی‌های جدید و قوی‌تر شده است. فراصوت یکی از سریع‌ترین، قوی‌ترین و قابل قبول‌ترین تکنولوژی‌ها است که اثر تخریبی کمی بر مواد فعال زیستی دارد. فراصوت یک تکنیک غیرمخرب، ساده و سریع برای حفظ خصوصیات کیفی میوه‌ها و سبزیجات طی ذخیره‌سازی و حین مصرف است. تکنولوژی فراصوت آب میوه‌هایی با کیفیت بالاتر از نظر نگه‌داری ترکیبات فعال زیستی و ویژگی‌های حسی در مقایسه با آب‌میوه‌های تیمار شده با گرما را موجب می‌گردد (Aguilar et al., 2017). غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها می‌تواند با اثر مکانیکی حفره‌زایی ایجاد شده توسط سونیکاسیون توجیه گردد. حباب‌های گاز تشکیل شده در محیط مایع توسط حفره‌زایی مکانیکی در سرتاسر محیط مایع منشر می‌شود. این حباب‌ها بزرگ‌تر شده و به فرم غیر پایداری درمی‌آیند و سپس شروع به تخریب می‌کنند (Mohideen et al., 2015). فشار و دمای بالای ایجاد شده در محیط مایع در اثر فرآیند حفره‌زایی در دوره

کوتاهی پایان می‌یابد. با این‌وجود این عوامل قادرند به غشای سیتوپلاسمی آسیب وارد کنند. فشار بالای ایجاد شده در محیط در اثر درهم‌فروریزی حباب‌ها دلیل اصلی غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها است.

میوه‌های رنگی به‌علت حضور ترکیبات فعال زیستی نقش اساسی و حیاتی را در رژیم غذایی انسان بازی می‌کنند. تحقیقات اخیر اهمیت مواد زیستی رنگی و آنتی‌اکسیدان‌ها را در سلامت و تغذیه بشر نشان داده است (Rawson et al., 2011). آنتوسیانین‌ها بسیار ناپایدار بوده و می‌توانند در طی فرآیند، تنزل پیدا کنند و خواص فعال زیستی‌شان را طی فرآوری و در نتیجه شرایطی از جمله دما، نور، اکسیژن و غیره از دست بدهند (Tiwari et al., 2010). آنتوسیانین‌ها ترکیبات مهم در آب‌میوه‌های قرمز بوده و در تولید رنگ آب‌میوه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی دارند، زیرا دارای نقش مهمی در پیشگیری از بیماری‌های قلبی، عروقی، عصبی و سرطان هستند (Patras et al., 2010).

فرآیند معمول حرارتی آب‌میوه‌ها باعث از بین رفتن برخی ترکیبات مغذی نظیر فلاونوئیدها (Igual et al., 2011) و کاروتنوئیدها (Fратиanni et al., 2010) می‌شود. تیمارهای حرارتی اضافی در دماهای بالاتر از ۸۰ درجه سلسیوس باعث تغییرات نامطلوبی در خواص مختلف آب‌میوه‌ها از جمله خواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ارگانولپتیک هم‌چون مواد مغذی، رنگ، طعم و مقبولیت بو در آب میوه می‌شوند (Bhattacharjee et al., 2011).

محققین کاهش جزئی (۶ درصد) محتوای آنتوسیانینی شاه‌توت را در دامنه ۱۰۰ درصد و ۱۰ دقیقه فراصوت مشاهده کردند که ثبات و پایداری بالای

سولفات مس ۱۰ درصد، بافر کلرید پتاسیم، بافر استات سدیم، اسید گالیک، معرف فولین-سیوکالتیو، بی کربنات سدیم، ۲ و ۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل از شرکت (Merck, Germany) تهیه شدند.

- تهیه آب آلبالو

میوه‌های تازه از بازار محلی تهیه شد و پس از جدا کردن میوه‌های آسیب‌دیده و خراب شسته شدند. آب‌گیری توسط آب‌میوه‌گیر انجام شد. آب‌میوه حاصل فوراً توسط سانتریفوژ به مدت ۲۰ دقیقه جهت جداسازی فاز جامد از مایع تحت سانتریفوژ قرار گرفت. آب‌میوه شفاف از کاغذ صافی رد شد و ناخالصی‌ها به‌طور کامل جداسازی گردید. سپس آب‌میوه حاصل تحت تیمارهای مورد نظر قرار گرفت. همچنین، آب‌میوه تولید شده به‌عنوان تیمار کنترل (بدون حرارت و سونیکاسیون) در نظر گرفته شد.

- تیمار پاستوریزاسیون

برای بررسی تأثیر پاستوریزاسیون، نمونه‌ها به مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر در ارلن شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری با درپوش آلومینیومی در ۹۰ درجه سلسیوس (دمای بهینه پاستوریزاسیون مورد استفاده در کارخانه) به مدت ۳۰ ثانیه پاستوریزه شدند (Rupasinghe et al., 2012).

- تیمار حرارتی

برای بررسی تأثیر تیمار حرارتی بدون سونیکاسیون در مقایسه با سونیکاسیون در این دما، نمونه‌ها در ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه نگه داشته شدند.

- سونیکاسیون آب آلبالو

یک سیستم اولتراسونیکاسیون ۱۲۵ وات (Q Sonica, USA) با یک پروب ۱۲ میلی‌متری برای سونیکاسیون استفاده شد. نمونه‌ها در یک فرکانس ثابت ۲۰

آنتوسیانین‌های شاه‌توت را نسبت به تیمار سونیکاسیون نشان داد (Tiwari et al., 2009). اثر فراصوت و پاستوریزاسیون در محتوای آنتوسیانینی توت‌فرنگی بررسی شد (Dubrovic et al., 2011). محتوای آنتوسیانینی بعد از پاستوریزاسیون نسبت به آب‌میوه تیمار نشده کاهش ۵/۸-۵/۳ درصدی را نشان داد و بعد از تیمار فراصوت در حرارت‌های ۲۰-۴۰ درجه سلسیوس تخریب آنتوسیانین نسبت به آب‌میوه تیمار نشده، به‌طور کلی کم‌تر بود و حداکثر ۴/۴ درصد گزارش گردید و تنها در تیمار با دمای ۵۵ درجه سلسیوس فراصوت و زمان طولانی، کل محتوای آنتوسیانینی نسبت به آب‌میوه تیمار نشده کاهش ۷/۱-۵/۸ درصدی را داشت که حتی بیشتر از پاستوریزاسیون بود.

مصرف آب آلبالو به‌علت محتوای ترکیبات زیست‌فعال مثل آنتوسیانین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد فنولی رو به افزایش است و با توجه به تولید مقدار بالایی از آب آلبالو در صنعت آب‌میوه ایران و توجه به خواص کیفی، در این پژوهش اثر فراوری متداول پاستوریزاسیون با روش سونیکاسیون روی ترکیبات آب آلبالو مطالعه شد تا روش فراوری مطلوبی برای آن پیشنهاد شود.

مواد و روش‌ها

- مواد شیمیایی

بافرهای ۴ و ۷، محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال، معرف فنل فتالین، محلول ۶ و ۲-دی کلرو ایندوفنل، محلول متافسفریک اسید ۳ درصد، استون، اتر، اسید اسکوریک، محلول ید، محلول اسید اگزالیک، محلول

طبق استاندارد ملی ایران (ISIRI, 5609/2001) ۵۶۰۹ ایران انجام شد.

محتوای فنولی: محتوای فنولی آب آلبالو طبق روش فولین سیوکالیتو انجام شد. میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر به‌دست آمد. میزان فنول کل از روی منحنی استاندارد با غلظت‌های مختلف (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) اسید گالیک برحسب میلی‌گرم در لیتر بیان شد (Waterman *et al.*, 1994).

خاصیت آنتی‌اکسیدانی: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب آلبالو بر اساس مهار رادیکال‌های DPPH (۲ و ۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل) با روش اسپکتروفتومتری انجام شد (Brand-Williams *et al.*, 1995). یک محلول ۷۰۰ میکرولیتری از ۱۰۰ میکرولیتر DPPH در متانول با یک حجم برابر از آب‌میوه مخلوط شد و پس از ۳۰ دقیقه نگاه‌داری در تاریکی، طیف جذبی نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها به‌صورت درصد بازداری با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد.

(۱) $\text{Ab control} - \text{Ab sample} / \text{Ab control} \times 100 = \text{درصد بازداری}$

Ab control: میزان جذب در زمان صفر، میزان جذب DPPH
Ab sample: جذب نمونه بعد از ۳۰ دقیقه (جذب نمونه به‌علاوه DPPH)

محتوای آنتوسیانینی: محتوای آنتوسیانینی با استفاده از جذب اسپکتروفتومتری در حضور بافرها و pH‌های مختلف انجام گرفت (Lee *et al.*, 2005). جذب نمونه‌ها در ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری و مقدار

کیلوهرتزی فراوری شدند. انرژی ورودی توسط تنظیم دامنه موج پروب فراصوت کنترل شد. پارامترهای بیرونی در سطوح دامنه ۲۴/۴، ۴۲/۷ و ۶۱ میکرومتر و زمان تیمار ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه با زمان‌های پالس ۵ ثانیه روشن و ۵ ثانیه خاموش متغیر بودند. نمونه‌های آب آلبالو در ترموسونیکاسیون تا دمای ۶۰ درجه سلسیوس حرارت داده شدند و دمای سیرکولاسیون در 2 ± 60 درجه سلسیوس تنظیم شد. نمونه‌های بدون تیمار حرارتی در آب با دمای 5 ± 25 درجه سلسیوس در حال سیرکوله گذاشته شدند. پروب فراصوت در کلیه نمونه‌ها در عمق مساوی ۲۵ میلی‌متری در نمونه‌ها فرو برده شد. تمام تیمارهای سونیکاسیون در سه تکرار انجام شدند.

- آزمایش‌های شیمیایی

بریکس: مواد جامد قابل حل در آب با استفاده از رفاکتومتر دیجیتال (Maselli, Italy) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. میزان مواد جامد محلول بر حسب درجه بریکس بیان شد (Tiwari *et al.*, 2010).

pH: مقدار pH آب‌میوه با pH متر دیجیتال رومیزی (HANNA-211, Italy) طبق روش تیواری (Tiwari *et al.*, 2010) اندازه‌گیری شد.

اسیدیته کل: برای تعیین میزان اسیدیته کل آب آلبالو، از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد و از روی میزان سود مصرفی مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون بر اساس اسید غالب (اسید مالیک) محاسبه شد (Tiwari *et al.*, 2010).

اندازه‌گیری ویتامین ث: اندازه‌گیری اسیداسکوربیک از روش تیتراسیون با محلول ۶ و ۲- دی کلروایندوفنل

ویژگی‌ها در آب آلبالو نداشتند. بیش‌ترین محتوای ویتامین ث در نمونه کنترل مشاهده شد و کم‌ترین آن متعلق به تیمار پاستوریزاسیون بود. نتایج نشان داد که تشدید فراصوت نیز باعث تشدید کاهش محتوای ویتامین ث در آب آلبالو شد (جدول ۱).

تیمار پاستوریزاسیون کاهش معنی‌دار ۳۱/۷ درصدی را در ویتامین ث آب آلبالو موجب شد ولی تیمارهای دمایی ۶۰ درجه سلسیوس تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی نداشت و این نتایج نشان داد که دماهای بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس اثر منفی بر محتوای ویتامین ث آب آلبالو داشتند. این نتایج در توافق با یافته‌های دیگر محققان (Cruz et Hosseinzadeh Samani et al., 2015) بودند که گزارش کردند ویتامین ث حساس به افزایش دما است. در این بررسی تیمار فراصوت با دامنه ۲۴/۴ در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تأثیر معنی‌داری بر محتوای ویتامین ث نداشت ولی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با فراصوت در تمام شدت‌های اعمال شده کاهش محتوای ویتامین ث مشاهده شد. در دامنه ۶۱ میکرومتر فراصوت و مدت ۴ و ۸ دقیقه، دمای ۲۵ درجه سلسیوس کاهش معنی‌داری در ویتامین ث مشاهده نشد. تیمارهای با دامنه ۶۱ میکرومتر در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، زمان ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه به ترتیب موجب کاهش ۱۳/۸، ۱۸/۸ و ۲۰/۸ درصدی ویتامین ث در آب آلبالو شد.

جذب (A) طبق فرمول (۲) محاسبه شد. محتوای آنتوسیانین منومریک کل (TA) برحسب میلی‌گرم بر لیتر از معادل سیانیدین-۳- گلوکوزید طبق فرمول (۳) بیان شد.

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4.5} \quad (2)$$

$$TA = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times L} \quad (3)$$

که $\epsilon = 26900$ (L/mol.cm), $MW = 449/2$ (g/mol) به ترتیب برابر با وزن مولکولی و ضریب انهدام سیانیدین-۳- گلوکوزید هستند. DF فاکتور رقت و L نیز طول سل اسپکتروفتومتر (سانتی‌متر) و ۱۰۰۰ فاکتور تبدیل از گرم به میلی‌گرم هستند.

- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش تجزیه داده‌ها بر اساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. جهت تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. مقایسه میانگین صفات به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از (Excel 2010) استفاده شد.

یافته‌ها

بریکس آب آلبالو $1 \pm 12/3$ ، pH $0/1 \pm 4/2$ و اسیدیته $0/6$ گرم در ۱۰۰ گرم بود. در این بررسی، تیمارهای حرارتی و فراصوت تأثیر معنی‌داری بر این

جدول (۱) - تأثیر تیمارهای دمایی و فراصوت بر محتوای ویتامین ث آب آلبالو

ویتامین ث (mg/100ml)	دما (درجه سلسیوس)	مدت تیمار (دقیقه)	دامنه اولتراسوند (میکرومتر)
۱۱/۳۷ ^a	۲۵	-	-
۷/۷۶ ^g	۹۰	۰/۵	-
۱۰/۶۷ ^{abcd}	۶۰	۴	-
۱۰/۵۷ ^{abcd}	۶۰	۸	-
۱۰/۶۷ ^{abcd}	۶۰	۱۲	-
۱۰/۹۳ ^{ab}	۲۵	۴	۲۴/۴
۱۰/۳۳ ^{bcd}	۶۰	۴	۲۴/۴
۱۰/۹۰ ^{ab}	۲۵	۸	۲۴/۴
۱۰/۳۳ ^{bcd}	۶۰	۸	۲۴/۴
۱۰/۶۳ ^{abcd}	۲۵	۱۲	۲۴/۴
۱۰/۵۰ ^{abcd}	۶۰	۱۲	۲۴/۴
۱۰/۱۰ ^{bcde}	۲۵	۴	۴۲/۷
۱۰/۱۳ ^{bcde}	۶۰	۴	۴۲/۷
۱۰/۸۳ ^{ab}	۲۵	۸	۴۲/۷
۹/۷۳ ^{def}	۶۰	۸	۴۲/۷
۱۰/۰۰ ^{bcde}	۲۵	۱۲	۴۲/۷
۹/۸۰ ^{cdef}	۶۰	۱۲	۴۲/۷
۱۰/۵۷ ^{abcd}	۲۵	۴	۶۱
۹/۸۰ ^{cdef}	۶۰	۴	۶۱
۱۰/۷۰ ^{abc}	۲۵	۸	۶۱
۹/۲۳۳ ^{ef}	۶۰	۸	۶۱
۱۰/۴۰ ^{bcd}	۲۵	۱۲	۶۱
۹/۰۰ ^f	۶۰	۱۲	۶۱

a-f حروف لاتین متفاوت در ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.05$).

- محتوای فنولی

سلیسیوس، دامنه ۶۱ میکرومتر در ۱۲ دقیقه به دست آمد. تیمار پاستوریزاسیون کاهش ۲۲/۹ درصدی را در محتوای فنولی آب آلبالو موجب شد. در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس با افزایش دامنه سونیکاسیون و زمان تیمار، محتوای فنولی افزایش یافت. دمای ۲۵ درجه سلیسیوس، دامنه ۶۱ میکرومتر، زمان‌های ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه افزایش ۳۰/۴، ۱۶/۱ و ۱۴/۶ درصدی را در محتوای فنولی آب آلبالو نسبت به

نتایج به دست آمده از این بررسی (جدول ۲)، نشان داد که شدت‌های بالای فراصوت، در دمای پایین اثر مثبتی بر محتوای فنولی آب آلبالو داشته و دماهای بالا اثر منفی بر این ویژگی داشتند. بیش‌ترین محتوای فنولی در تیمار دمایی ۲۵ درجه سلیسیوس، دامنه ۶۱ میکرومتر به مدت ۴ دقیقه و کم‌ترین مقدار در تیمار دمایی ۶۰ درجه

نمونه کنترل موجب شد. در دامنه ۶۱ میکرومتر، دمای ۶۰ کاهش مشاهده شده ۳۱/۲ درصد بود. درجه سیلسیوس و زمان ۱۲ دقیقه فراصوت حداکثر

جدول (۲) - تاثیر تیمارهای دمایی و فراصوت بر محتوای فنولی (mg/l) آب آلبالو

محتوای فنولی (mg/l)	دما (درجه سیلسیوس)	مدت تیمار (دقیقه)	دامنه اولتراسوند (میکرومتر)
۱۸۳۵ ^l	۲۵	-	-
۱۴۱۵ ^o	۹۰	۰/۵	-
۱۹۰۰ ^l	۶۰	۴	-
۱۹۴۱ ^f	۶۰	۸	-
۱۸۰۱ ^m	۶۰	۱۲	-
۱۸۹۹ ^l	۲۵	۴	۲۴/۴
۱۸۶۳ ^k	۶۰	۴	۲۴/۴
۱۹۱۶ ^h	۲۵	۸	۲۴/۴
۱۹۲۶ ^{gh}	۶۰	۸	۲۴/۴
۱۸۵۲ ^k	۲۵	۱۲	۲۴/۴
۱۸۱۳ ^j	۶۰	۱۲	۲۴/۴
۱۹۳۳ ^{fg}	۲۵	۴	۴۲/۷
۱۸۳۱ ^l	۶۰	۴	۴۲/۷
۱۹۹۵ ^d	۲۵	۸	۴۲/۷
۱۸۱۳ ^j	۶۰	۸	۴۲/۷
۱۹۶۷ ^e	۲۵	۱۲	۴۲/۷
۱۷۸۳ ⁿ	۶۰	۱۲	۴۲/۷
۲۳۹۳ ^a	۲۵	۴	۶۱
۱۷۸۴ ⁿ	۶۰	۴	۶۱
۲۱۳۰ ^b	۲۵	۸	۶۱
۱۹۱۹ ^h	۶۰	۸	۶۱
۲۰۹۵ ^c	۲۵	۱۲	۶۱
۱۲۶۳ ^p	۶۰	۱۲	۶۱

a-p حروف لاتین متفاوت در ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار است (P<۰/۰۵).

شد ولی در دمای بالا این ویژگی را به طور معنی داری کاهش داد. بیشترین محتوای آنتی اکسیدانی در تیمار با دامنه ۶۱ میکرومتر، دمای ۲۵ درجه سیلسیوس در ۴ دقیقه و کمترین آن در تیمار پاستوریزاسیون مشاهده

در این بررسی خواص آنتی اکسیدانی آب آلبالو تحت تاثیر تیمارهای دمایی و سونیکاسیون قرار گرفت (جدول ۳). اعمال فراصوت در دمای پایین افزایش معنی دار محتوای آنتی اکسیدانی را در آب آلبالو موجب

بیش‌ترین افزایش در دامنه ۶۱ میکرومتر ۱۱/۶ درصد مربوط به تیمار با دمای ۲۵ درجه سیلسیوس در مدت ۴ دقیقه بود و بیش‌ترین کاهش معادل ۱۳/۳ درصد مربوط به تیمار ۶۰ درجه سیلسیوس با دامنه ۶۱ میکرومتر در ۱۲ دقیقه به‌دست آمد.

شد. تیمار پاستوریزاسیون کاهش ۱۹/۴ درصدی را در محتوای آنتی‌اکسیدانی آب آلبالو موجب شد. هیچ‌کدام از تیمارهای دمایی ۶۰ درجه تأثیر معنی‌داری بر محتوای آنتی‌اکسیدانی آب آلبالو نداشت. بیش‌ترین کاهش به میزان ۱۲ درصد در تیمار با دامنه پایین ۲۴/۴ میکرومتر در دمای ۶۰ درجه سیلسیوس و مدت ۱۲ دقیقه بود.

جدول (۳) - تأثیر تیمار دمایی و فراصوت بر محتوای آنتی‌اکسیدانی (Percentage inhibition) آب آلبالو

دامنه اولتراسوند (میکرومتر)	مدت تیمار (دقیقه)	دما (درجه سیلسیوس)	خاصیت آنتی‌اکسیدانی (درصد بازداری)
-	-	۲۵	۴۰/۴۷ ^{defg}
-	۰/۵	۹۰	۳۲/۶۳ ^j
-	۴	۶۰	۳۹/۰۳ ^{efgh}
-	۸	۶۰	۳۹/۷۶ ^{efgh}
-	۱۲	۶۰	۳۸/۸۷ ^{gh}
۲۴/۴	۴	۲۵	۴۰/۲۷ ^{efg}
۲۴/۴	۴	۶۰	۳۹/۶۳ ^{efgh}
۲۴/۴	۸	۲۵	۳۸/۳۰ ^h
۲۴/۴	۸	۶۰	۳۷/۹۳ ^h
۲۴/۴	۱۲	۲۵	۳۹/۶۰ ^{efgh}
۲۴/۴	۱۲	۶۰	۳۵/۶۳ ⁱ
۴۲/۷	۴	۲۵	۴۲/۷۰ ^{bc}
۴۲/۷	۴	۶۰	۴۰/۶۰ ^{defg}
۴۲/۷	۸	۲۵	۴۴/۶۳ ^a
۴۲/۷	۸	۶۰	۴۰/۹۰ ^{cdef}
۴۲/۷	۱۲	۲۵	۴۱/۳۷ ^{cde}
۴۲/۷	۱۲	۶۰	۳۹/۴۳ ^{efgh}
۶۱	۴	۲۵	۴۵/۱۷ ^a
۶۱	۴	۶۰	۳۸/۱۷ ^h
۶۱	۸	۲۵	۴۳/۵۷ ^{ab}
۶۱	۸	۶۰	۳۵/۹۳ ⁱ
۶۱	۱۲	۲۵	۴۲/۲۳ ^{bcd}
۶۱	۱۲	۶۰	۳۵/۰۷ ⁱ

a-j حروف لاتین متفاوت در ستون نشان دهنده تفاوت است ($P < 0/05$).

دقیقه بود که به ترتیب کاهش ۶/۲ و ۶/۶ درصدی را موجب شد که در بررسی مشابهی محققین نشان دادند که با افزایش هم‌زمان مدت زمان و دامنه سونیکاسیون از ۵ دقیقه به ۱۰ دقیقه و از ۸۰ به ۱۰۰ درصد، ۵/۳ درصد از محتوای آنتوسیانینی آب جمبو کاسته شد (Shaheer et al., 2014).

در این بررسی محتوای آنتوسیانینی آب آلبالو تحت تأثیر تیمارهای دمایی و فراصوت قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده (جدول ۴) بیش‌ترین محتوای آنتوسیانینی مربوط به تیمار با دامنه ۲۴/۴، دمای ۲۵ درجه سلسیوس و در ۴ دقیقه بود و کم‌ترین آن در تیمار پاستوریزاسیون و دامنه ۶۱ میکرومتر، دمای ۶۰ درجه سلسیوس، مدت ۴

جدول (۴) - تحت تأثیر تیمارهای دمایی و فراصوت بر محتوای آنتوسیانینی (mg/l) آب آلبالو

محتوای آنتوسیانینی (mg/l)	دما (درجه سلسیوس)	مدت تیمار (دقیقه)	دامنه اولتراسوند (میکرومتر)
۵۵۳ ^{fg}	۲۵	-	-
۵۱۸/۵ ⁿ	۹۰	۰/۵	-
۵۳۹/۳ ^{jk}	۶۰	۴	-
۵۲۹/۵ ^{lm}	۶۰	۸	-
۵۵۶/۵ ^{def}	۶۰	۱۲	-
۵۷۸/۶ ^a	۲۵	۴	۲۴/۴
۵۶۶ ^b	۶۰	۴	۲۴/۴
۵۶۳/۷ ^{bc}	۲۵	۸	۲۴/۴
۵۳۸/۸ ^{dk}	۶۰	۸	۲۴/۴
۵۲۷ ^m	۲۵	۱۲	۲۴/۴
۵۳۴/۸ ^{kl}	۶۰	۱۲	۲۴/۴
۵۲۸/۱ ^m	۲۵	۴	۴۲/۷
۵۱۶/۳ ⁿ	۶۰	۴	۴۲/۷
۵۶۰/۷ ^{bcd}	۲۵	۸	۴۲/۷
۵۴۹/۱ ^{gh}	۶۰	۸	۴۲/۷
۵۵۳/۵ ^{fg}	۲۵	۱۲	۴۲/۷
۵۵۹/۳ ^{cde}	۶۰	۱۲	۴۲/۷
۵۴۶/۱ ^{hi}	۲۵	۴	۶۱
۵۵۱/۲ ^{fgh}	۶۰	۴	۶۱
۵۳۱/۱ ^{lm}	۲۵	۸	۶۱
۵۵۴/۸ ^{efg}	۶۰	۸	۶۱
۵۴۱/۱ ^{ij}	۲۵	۱۲	۶۱
۵۳۰/۱ ^m	۶۰	۱۲	۶۱

a-n: حروف لاتین متفاوت در ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار است ($P < 0/05$).

بحث و نتیجه‌گیری

تیمار سونیکاسیون حرارتی قادر به افزایش غیر فعال‌سازی میکروب‌ها در آب‌میوه است. اثربخش بودن انهدام میکروبی تحت تأثیر دامنه امواج صوتی، زمان فرآوری، دمای تیمار، حجم آب‌میوه فرآوری شده و ترکیبات آب‌میوه قرار می‌گیرد. میکروارگانیسم‌ها به‌طور مشابه به تیمار فراصوت واکنش نشان نمی‌دهند. از بین رفتن میکروب‌ها در اثر تیمار فراصوت ناشی از نازک شدن غشای سلولی، ایجاد حرارت‌های موضعی و افزایش فشار و تولید رادیکال‌های آزاد شده است (Lee et al., 2009). مکانیسم اصلی مسئول در غیر فعال‌سازی میکروب‌ها، فشارهای فیزیکی ناشی از پدیده کاویتاسیون صوتی فراصوت است. سطوح آب‌گریز دیواره سلولی میکروارگانیسم‌ها به انهدام حباب‌های کاویتاسیونی تشکیل شده طی کاربرد اولتراسونیکاسیون کمک کرده و منجر به ایجاد آسیب شدید دیواره سلولی می‌شوند (Chandrasekhar et al., 2012).

نتایج این بررسی مطابق با سایر بررسی‌ها (Tiwari et al., 2015; Hosseinzadeh Samani et al., 2008) بود که نشان دادند افزایش دامنه فراصوت موجب کاهش بیشتر ویتامین ث می‌شود و این کاهش احتمالاً ناشی از تخریب اسید اسکوربیک در آب‌میوه یا ترکیب آن با سایر ترکیبات مانند آنتوسیانین‌ها، ناشی از بروز واکنش‌های اکسیدتیو است. این فرآیند در اثر رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط سونیکاسیون تشدید می‌شود. علاوه بر آن ترمولیز ناشی از فرآیند حفره‌زایی در اثر سونیکاسیون می‌تواند دلیل دیگر تخریب ویتامین ث باشد. علاوه بر آن تخریب حرارتی ناشی از فرآیند حفره‌زایی در اثر سونیکاسیون می‌تواند دلیل

دیگر تخریب ویتامین ث باشد (Tiwari et al., 2008; Hosseinzadeh Samani et al., 2015).

در حداکثر مدت زمان، دامنه فراصوت و دمای ۶۰ درجه سلسیوس بیش‌ترین کاهش در محتوای فنولی آب آلبالو مشاهده شد که حتی بیشتر از پاستوریزاسیون بود. محققین تأثیر تیمار سونیکاسیون در آب کاکتوس را بررسی کرده و افزایش معنی‌دار محتوای فنولی را گزارش نمودند (Rojas et al., 2013). در بررسی این محققین بیشترین افزایش متعلق به دامنه ۸۰ درصد به مدت ۸ دقیقه بود که نتایج حاصل از این مطالعه با پژوهش یاد شده مطابقت داشت. ترکیبات فنولی در واکنش‌ها به فرم‌های مختلف مانند فرم آزاد و متصل به اجزای دیواره سلولی مانند پکتین، همی سلولز و لیگنین وجود دارد. استفاده از فراصوت تخریب دیواره سلولی را موجب شده و در نتیجه ترکیبات فنولی آزاد می‌شوند (Cheng et al., 2007; Rojas et al., 2013).

بررسی‌ها نشان داده است که افزایش ترکیبات فنولی در اثر سونیکاسیون، ناشی از آزاد شدن فرم‌های متصل ترکیبات فنولی در اثر تخریب دیواره سلول‌ها در اثر فرآیند حفره‌زایی است. هم‌چنین این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش گروه‌های هیدروکسیل تولید شده توسط سونیکاسیون به حلقه ترکیبات فنولی باشد (Rojas et al., 2013). آنتی‌اکسیدان‌ها از دیگر مواد موجود در میوه‌ها بوده و از متابولیت‌های ثانوی گیاهان هستند که از اکسیداسیون میوه‌ها در اثر عوامل محیطی مانند نور، هوا، اکسیژن و حمله‌های میکروبیولوژیکی جلوگیری می‌کنند. آنتی‌اکسیدان‌های فنولی با فرآیندهای اکسیداسیون به‌عنوان خنثی‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد تداخل می‌کنند (Hidalgo et al., 2017). روش‌های

آنتوسیانین‌ها مهم‌ترین ترکیبات رنگی در بین فلاونوئیدها هستند. آنتوسیانین‌ها بیشتر در مواد غذایی رنگی مانند توت‌فرنگی، سیب، گیلاس، تمشک، پرتقال، انگور، انجیر، انبه، انار، کلم قرمز و سیب‌زمینی شیرین وجود دارند (Lee *et al.*, 2005). آنتوسیانین‌ها بسیار ناپایدار بوده و می‌توانند در طی فرآوری، تخریب شده و خواص زیست‌فعال خود را در شرایطی از جمله pH، دما، نور، اکسیژن و وجود آنزیم‌ها و یون‌های فلزی از دست دهند (Tiwari *et al.*, 2009). محققان اظهار داشتند که آنتوسیانین‌ها (از ترکیبات فلاونوئیدی) به‌راحتی در اثر حرارت تخریب می‌شوند و این امر باعث تغییر مقبولیت رنگ در آب‌میوه‌ها می‌شود. تخریب آنتوسیانین‌ها در اثر دما ناشی از اکسیداسیون و شکستن پیوند کووالانست. با افزایش میزان دما بر میزان تخریب آنتوسیانین‌ها افزوده می‌شود. شدت و مدت زمان گرمادهی، تأثیر عمده‌ای بر پایداری آنتوسیانین‌ها دارد (Shaheer *et al.*, 2014). برخی از محققین باز شدن حلقه پرلیوم و تشکیل چالکون را مهم‌ترین دلیل تخریب آنتوسیانین‌ها عنوان نمودند. بعد از تشکیل چالکون‌ها تخریب کامل این ترکیبات و تبدیل آن‌ها به سایر ترکیبات انجام می‌شود (Patras *et al.*, 2010).

در نهایت با توجه به نتایج این مطالعه، تیمار پاستوریزاسیون در اغلب موارد تأثیر منفی بر ویژگی‌های کیفی آب آلبالو داشت. محتوای ویتامین ث، محتوای فنولی، خواص آنتی‌اکسیدانی و محتوای آنتوسیانینی تحت تأثیر پاستوریزاسیون در اغلب موارد بیشترین کاهش را نشان دادند. تیمارهای دمایی ۶۰ درجه سلیسیوس به تنهایی، در اغلب موارد تأثیری بر صفات کیفی نداشت. با

مرسوم فرآوری آب‌میوه‌ها می‌تواند باعث تخریب آنتوسیانین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها شود. از مزایای فراصوت می‌توان به غیر فعال‌سازی میکروارگانیزم‌ها بدون تأثیر بر خواص تغذیه‌ای، کاهش زمان فرآوری و کاهش مصرف انرژی اشاره کرد. استفاده از تیمار فراصوت باعث حفظ آنتی‌اکسیدان‌ها، آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنولی در آب‌میوه‌ها می‌شود. با این وجود بررسی‌ها نشان داده است که فراصوت نمی‌تواند کارایی مطلوبی در کنترل میکروارگانیزم‌های موجود در آب‌میوه‌ها داشته باشد (Zou *et al.*, 2016). استفاده از فراصوت در ترکیب با حرارت باعث کاهش قابل‌ملاحظه زمان فرآوری شده و باعث کاهش انرژی مصرفی و هزینه‌های تولید شده است. بررسی‌ها نشان داده که استفاده از فراصوت باعث حفظ ترکیبات فعال زیستی مانند ترکیبات فنولی، آنتی‌اکسیدان‌ها و آنتوسیانین‌ها می‌شود (Sulaiman *et al.*, 2017).

در مطالعات دیگر، تأثیر فراصوت و دما در آب توت‌فرنگی بررسی شد و اظهار داشتند تیمار سونیکاسیون بدون تیمار دمایی باعث حفظ بیشتر خواص آنتی‌اکسیدانی می‌شود و تیمار دمایی به‌همراه سونیکاسیون، کاهش این ویژگی را در آب توت‌فرنگی موجب می‌شود که با نتایج این بررسی مطابقت دارد (Sulaiman *et al.*, 2016). محققان گزارش کردند که فراصوت اثر تحریکی بر محتوای ضداکسایشی دارد و فرآیندهای تولید ترکیبات ضداکسایشی را در آب‌میوه تحریک می‌کند، ولی افزایش مدت زمان فراصوت و دما به‌دلیل تشدید تخریب خواص ضداکسایشی باعث کاهش معنی‌دار این ویژگی می‌شود (Sulaiman *et al.*, 2017).

بالاتر نسبت به محصولات پاستوریزه به بازار مصرف ارائه کرد.

افزایش هم‌زمان دما، دامنه سونیکاسیون و مدت زمان تیمار کاهش بیشتری در محتوای فنولی آب آلبالو مشاهده شد. افزایش دما به همراه دامنه سونیکاسیون و زمان تیمار در اغلب موارد از ویژگی‌های کیفی کاست. بنابراین با تلفیقی از تیمارهای دمایی ۶۰ درجه سلسیوس و دامنه ۴۲/۷ میکرومتر فراصوت می‌توان محصولات با ویژگی‌های کیفی

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

منابع

- Aguilar, K., Garvín, A., Ibarz, A. and Augusto, P.E.D. (2017). Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37: 375–381.
- Bhattacharjee, A.K., Tandon, D.K., Dikshit, A. and Kumar, S., (2011). Effect of pasteurization temperature on quality of aonla juice during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 48(3): 269-273.
- Brand- Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology*, 28(1): 25-30.
- Chandrasekhar, J., Madhusudhan, M. and Raghavarao, K. (2012). Extraction of anthocyanins from red cabbage and purification using adsorption. *Food and Bioproducts Processing* 90(4): 615-623.
- Cheng, L., Soh, C., Liew, S. and Teh, F. (2007). Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chemistry*, 104(4): 1396-1401.
- Cruz, R.M.S., Vieira, M.C. and Silva, C.L.M. (2015). Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Food Science and Emerging Technologies*, 9(4): 483-488.
- Dubrović, I., Herceg, Z., Jambrak, A.R., Badanjak, M. and Dragović-Uzelac, V. (2011). Effect of high intensity ultrasound and pasteurization on anthocyanin content in strawberry juice. *Food Technology and Biotechnology*, 49(2): 196-204.
- Fratianni, A., Cinquanta, L. and Panfili, G. (2010). Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6): 867-871.
- Hidalgo, G. and Pilar Almajano, M. (2017). Red fruits: extraction of antioxidants, phenolic content and radical scavenging determination: a review. *Antioxidants*, 6(1):1-27.
- Hosseinzadeh Samani, B., Khoshtaghaza, M.H., Minaee, S. and Abbasi, S. (2015). Modeling the simultaneous effects of microwave and ultrasound treatments on sour cherry juice using response surface methodology. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(4): 837-846.
- Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M.M. and Martínez-Navarrete, N. (2011). Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(2): 153-162.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI) (2001). Fruits, Vegetables and derived products Determination of Ascorbic Acid (Vitamin C) - (Routine method). ISIRI No. 5609.
- Lee, J., Durst, R.W. and Wrolstad, R.E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5): 1269-1278.
- Lee, H., Zhou, B., Liang, W., Feng, H. and Martin, S.E. (2009). Inactivation of *Escherichia coli* cells with sonication, manosonication, thermosonication, and manothermosonication: microbial responses and kinetics modeling. *Journal of Food Engineering*, 93(3): 354-364.

- Mohideen, F.W., Mis Solval, K., Li, J., Zhang, J., Chouljenko, A., Chotiko, A., *et al.* (2015). Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1): 563-570.
- Patras, A., Brunton, N.P, O'Donnell, C. and Tiwari, B.K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*, 21(1): 3-11.
- Peña, M.M., Welti-Chanes, J. and Martín-Belloso, O. (2016). Application of novel processing methods for greater retention of functional compounds in fruit-based beverages. *Beverages*. 2(2): 1-12.
- Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B.K. and Noci, F. (2011). Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44(7): 1875-1887.
- Rojas, Q.Y., Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Delgado-Olivares, L., Villanueva- Sánchez, J. and Alanís-García, E. (2013). Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5): 1283-1288.
- Rupasinghe, H.P.V. and Yu, L.J. (2012). Emerging preservation methods for fruit juice and beverages. *Journal of Food Additives*, 65-82.
- Shaheer, C.A., Hafeeda, P., Kumar, R., Kathiravan, T., Dhananjay Kumar and Nadasabapathi, S. (2014). Effect of thermal and thermosonication on anthocyanin stability in jamun (*Eugenia jambolana*) fruit juice. *International Food Research Journal*, 21(6): 2189-2194.
- Sulaiman, A., Farid, M. and Silva. F.V.M. (2016). Strawberry puree processed by thermal, high pressure, or power ultrasound: Process energy requirements and quality modeling during storage. *Food Science and Technology International*, 23(4): 293-309.
- Sulaiman, A., Farid, M. and Silva. F.V.M. (2017). Quality stability and sensory attributes of apple juice processed by thermosonication pulsed electric field and thermal processing. *Food Science and Technology International*, 23 (3): 64-71.
- Tiwari, B.K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C.P. and Cullen, P.J. (2008). Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *LWT- Food Science Technology*, 41(10): 1876-1883.
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P. and Cullen, P.J. (2009). Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering*, 93(2): 166-171.
- Tiwari, B.K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P.J. And O'Donnell, C.P. (2010). Effect of ultrasound processing on anthocyanins and colour of red grape juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. 17(3): 598-604.
- Waterman, P. OG. and Mole, S. (1994). Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell Scientific Publication. Oxford, 83-91.
- Zou, Y. and Jiang, A. (2016). Effect of ultrasound treatment on quality and microbial load of carrot juice. *Food Science and Technology (Campinas)*, 36(1): 111-115.